

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA



**SOLUCIÓN COLABORATIVA DE EVENTOS
DISRUPTIVOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO**

POR

FANNY PALMA VÁZQUEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

SEPTIEMBRE, 2018

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
SUBDIRECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO



**SOLUCIÓN COLABORATIVA DE EVENTOS
DISRUPTIVOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO**

POR

FANNY PALMA VÁZQUEZ

**COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRÍA EN LOGÍSTICA Y CADENA DE SUMINISTRO**

SEPTIEMBRE, 2018

Universidad Autónoma de Nuevo León

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Subdirección de Estudios de Posgrado

Los miembros del Comité de Tesis recomendamos que la Tesis «Solución colaborativa de eventos disruptivos en la cadena de suministro», realizada por el alumno Fanny Palma Vázquez, con número de matrícula 1883874, sea aceptada para su defensa como requisito parcial para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

El Comité de Tesis

Jania Ashraf Saucedo

Dra. Jania A. Saucedo Martínez

Asesor

[Firma]

Dr. José Antonio Marmolejo Saucedo

Revisor

[Firma]

Dr. Tomás Eloy Salais Fierro

Revisor

Vo. Bo.

[Firma]

Dr. Simón Martínez Martínez

Subdirector de Estudios de Posgrado



San Nicolás de los Garza, Nuevo León, septiembre 2018

*A ti mi Dios y Señor.
Gracias Dios,
porque tú sabes cuántas veces
se me acabaron las fuerzas para continuar,
mas tú **nunca dejaste que me rindiera.***

*No tengas miedo, pues yo estoy contigo;
no temas, pues yo soy tu Dios.
Yo te doy fuerzas, yo te ayudo,
yo te sostengo con mi mano victoriosa.
Isaías 41:10.*

ÍNDICE GENERAL

Agradecimientos	xii
Resumen	xiv
1. Introducción	1
1.1. Antecedentes	2
1.2. Descripción del problema	3
1.3. Objetivo general	4
1.3.1. Objetivos específicos	4
1.4. Hipótesis	4
1.5. Justificación	5
1.6. Alcance	6
1.7. Metodología propuesta	6
1.8. Estructura de tesis	7
2. Marco teórico	9
2.1. Cadena de suministro y logística	9

2.2. Gestión por Eventos en la Cadena de Suministro	12
2.3. Evento disruptivo	13
2.4. Efecto domino o <i>Ripple Effect</i> (RE)	14
2.5. Fundamentos de GECS: Métodos enfocados a las disrupciones de la CS	17
2.6. Metodología de GECS	25
2.6.1. Temas de actualidad en la logística como motor para el desa- rrollo de la GECS	35
2.6.2. Planeación de la CS	38
3. Metodología	41
3.1. Esquema de la metodología	42
3.2. Consideraciones previas a la GECS	43
3.3. Metodología descriptiva de GECS	45
3.3.1. Monitoreo	45
3.3.2. Notificación	50
3.3.3. Simulación	65
3.3.4. Control	68
3.3.5. Medición	69
4. Experimentación	71
4.1. Metodología analítica para su aplicación en el proyecto	71
4.1.1. Caso de estudio	72

4.1.2. Monitoreo	75
4.1.3. Notificación	75
4.1.4. Simulación	80
4.1.5. Control	86
4.1.6. Medición	86
5. Resultados y análisis	88
5.1. Notificación del ED	88
5.2. Simulación del ED: alternativas de solución para el caso	89
5.2.1. Costos logísticos	90
5.2.2. Evaluación de alternativas	91
5.2.3. Cambio de parámetros	94
6. Conclusiones	96
6.1. Conclusiones acorde a los objetivos planteados y el desarrollo del trabajo	96
6.2. Contribuciones	98
6.3. Trabajo a futuro	99
6.4. Limitaciones	100
A. Este es un apéndice	101
A.1. Citas bibliográficas	101

ÍNDICE DE FIGURAS

2.1. Modelo de cadena de suministro	11
2.2. Efecto Dominó	16
2.3. Clasificación de las técnicas de <i>Data Mining</i>	28
2.4. Gráfica de costo de un ED a través del tiempo	33
2.5. Índice de desempeño logístico	36
2.6. Planeación de la logística y cadena de suministro	38
3.1. Diagrama de metodología	42
3.2. KPIs planificados	44
3.3. Rangos de tolerancia para la selección de eventos	44
3.4. Tipos de nodos en un diagrama de influencia	48
3.5. Diagrama de influencia del ejemplo	48
3.6. Conjuntos difusos de la estatura de una población	53
3.7. Funciones de pertenencia triangular y trapezoidal	54
3.8. Función de pertenencia triangular y sus límites	55
3.9. Función de pertenencia trapezoidal y sus límites	56

3.10. Función de pertenencia trapezoidal R	56
3.11. Función de pertenencia trapezoidal L	57
3.12. Conjunto de reglas para el índice de alerta con lógica difusa	59
3.13. Proceso de Notificación	64
3.14. Función de agentes	65
3.15. Tipos de simulación	66
3.16. Categorización de problemas de logística y CS	67
3.17. Tipo de simulación en el contexto de logística y CS	67
4.1. Estructura de la CS del caso de estudio	73
4.2. Distribución y transporte	74
4.3. Fuzificación de prioridad	78
4.4. Reglas de prioridad	78
4.5. Desfuzificación de prioridad	79
4.6. Lógica difusa de la notificación	80
4.7. Diagrama de stock y flujo	82
4.8. Parámetros y dependencias	84
4.9. Ejecución del modelo	85
4.10. Cambio de parámetros	85
5.1. Evaluación de escenarios	91
5.2. Análisis de la alternativa implementada - Scenario 1	92

5.3. Análisis de la mejor alternativa por la simulación - Scenario 2	92
5.4. Análisis de la tercer alternativa - Scenario 3	93
5.5. Cambio de parámetros en la ejecución de la simulación	94
6.1. Comparación de alternativas - Escenario 1 vs Escenario 2	97

ÍNDICE DE TABLAS

2.1. Diferencias entre el efecto dominó (RE) y el efecto látigo	17
2.2. Comparación de métodos enfocados a ED en CS	20
2.3. Revisión de métodos utilizados para eliminar las disrupciones en la CS	24
3.1. Clasificación de perfiles	49
3.2. Categorías de notificación en la CS	51
3.3. Indicadores en el proceso abastecimiento y compras	61
3.4. Indicadores en el proceso de gestión de inventario	62
3.5. Indicadores en el proceso de distribución y transporte	63
3.6. Indicadores de prioridad y severidad del ED	63
4.1. Prioridad del ED del caso	76
4.2. Severidad del ED del caso	77

AGRADECIMIENTOS

Gracias a Dios por haberme acompañado en todo momento, darme fortaleza en los momentos de debilidad, por guiarme y darme el entendimiento al aprendizaje, así como a la experiencia en estos dos años.

A mis padres Pepe y Lupita, los amo con todo mi ser, gracias por todo su apoyo desde siempre, por creer y confiar en mí, por darme ánimos, consejos, su apoyo y por todo su amor incondicional; gracias por ir más allá de apoyarme a mi y de ayudarme a cuidar de mis hijos cuando el tiempo y mis fuerzas no eran suficientes para atender ambos.

Muchas gracias a mi familia: Rubén, Rubencito y Richi por soportar mi mal genio, por su paciencia cuando los dejé de lado por este proyecto que me apasiona, por todo su amor, por su apoyo, pero sobre todo por darme ese impulso para seguir adelante, esto es por ustedes hijos. Rubén, mi amor te agradezco tu apoyo, tu paciencia, tu amor y tu guía. Gracias Rafael por acompañarme estos últimos meses, ¡lo hicimos juntos!.

Mis papus adorados, que sería de mi sin su apoyo y resguardo desde el kinder, los amo. Le doy gracias también a toda mi familia, que siempre de una u otra manera me han apoyado y han creído en mí, gracias compadritos.

Agradezco mucho haberme encontrado en esta etapa a profesores que me han enseñado mucho de logística y de la vida, por compartir sus conocimientos y dejar una huella para siempre en mí, en particular a mi comité de tesis: Dra. Jania Saucedo,

gracias por todo su apoyo, su guía, su consejo, por hacerme ver y entender lo que no veía para desarrollar y culminar este trabajo; al Dr. José A. Marmolejo por su asesoría, por su tiempo y por apoyar mi entusiasmo para realizar este trabajo; al Dr. Tomás Salais por hacerme cuestionar lo evidente y lo no evidente, por sus enseñanzas y la atención que tuvo a mi trabajo, a todos los profesores del posgrado gracias por ser mis profesores y maestros, fue un placer. También gracias al MLCS Bermudez por su apoyo, no llegamos a culminar el proyecto como se planteó en un inicio, pero me sirvió mucho tu apoyo. No puedo dejar de lado al Dr. Miguel Mata, de esos maestros exquisitamente estrictos que dejan huella.

A la Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, quien alberga el Posgrado en Logística y Cadena de Suministro, gracias por permitirme ser parte ella, por el apoyo concedido, por la oportunidad de cursar este posgrado y por darme las atenciones brindadas.

Quiero agradecer además a las instituciones que han hecho posible realizar estos estudios, gracias por las becas que otorga el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y por ser beneficiada con su apoyo, que siga siendo un aliciente para todos quienes deseen superarse.

Por último y no menos importante, agradezco a todos mis compañeros, fue un placer conocerlos y pasar estos dos años tiempo con ustedes, gracias por el apoyo brindado de manera personal y de estudios, agradezco mucho el tiempo compartido a veces de estudio, a veces de angustia, a veces de ocio, espero haber podido contribuir en algo hacia ustedes. Leyder, gracias por tu apoyo en FL, en general gracias al equipo del MIT...otros. Gracias Gis, qué sería de mi sin personas como tú en esta travesía.

RESUMEN

Fanny Palma Vázquez.

Candidato para obtener el grado de Maestría en Logística y Cadena de Suministro.

Universidad Autónoma de Nuevo León.

Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica.

Título del estudio: SOLUCIÓN COLABORATIVA DE EVENTOS DISRUPTIVOS EN LA
CADENA DE SUMINISTRO.

Número de páginas: 110.

OBJETIVOS Y MÉTODO DE ESTUDIO: Proponer una herramienta que gestione eventos disruptivos (ED) con efecto dominó (RE), así como acciones de recuperación en la cadena de suministro que puedan afectar la ejecución de lo planificado, controlando y resolviendo el evento de una manera eficiente.

Identificar y asignar un nivel de criticidad a los ED con efecto dominó del sector automotriz una vez que estos ocurren para notificar a los involucrados a dicho evento, quienes son los indicados para tomar las acciones necesarias para controlar la problemática. Se brindará además información valiosa por medio de la simulación para evaluar y determinar las mejores acciones a tomar, mejorando el entendimiento de los eslabones de la cadena de suministro (CS) afectados y por consiguiente sugerir estrategias que reduzcan el efecto, para controlar y resolver el ED.

Se emplea una investigación documental para recabar información sobre los eventos disruptivos con mayor impacto en costo de la industria automotriz, se obtiene información también de los diferentes métodos para solucionar problemáticas similares a la planteada en el trabajo y a disminuir la vulnerabilidad de interrupciones con RE, finalmente se hace una comparación detallada asumiendo que los enfoques de los distintos métodos consultados llevan al uso de modelos matemáticos y de simulación. Es de esta manera que se determina que la metodología Gestión por Eventos en la Cadena de Suministro (*Supply Chain Event Management SCEM*) contribuye a una forma holística de tratar la problemática planteada a través de sus 5 funciones monitoreo, notificación, simulación, control y medición.

CONTRIBUCIONES Y CONCLUSIONES: Dentro de las conclusiones se encuentra que identificar y contrastar los ED en un nivel de criticidad de acuerdo con su prioridad y severidad, de esta forma los tomadores de decisiones tienen desde un principio la visualización del impacto de un ED. Por medio de la simulación, se pudo evaluar y determinar los posibles escenarios para resolver el ED, donde la alternativa arrojada por la simulación como la más exitosa no fue implementada debido a que no se contaba con la herramienta, sin embargo, la alternativa sugerida por la simulación demostró ser la más eficiente en la cuantificación de costos logísticos. La hipótesis planteada se demuestra.

Resolver problemáticas de manera más eficiente con herramientas como las que comúnmente se utilizan en una organización, deja al responsable o dueño del problema tomar las decisiones apegadas a la experiencia propia, proponer herramientas que permitan evaluar las probables decisiones que se tengan contempladas visualizando el impacto a largo plazo sin necesidad de modificar el sistema real brinda la posibilidad de tomar mejores decisiones.

Firma del asesor: _____

Dra. Jania A. Saucedo Martínez

CAPÍTULO 1

INTRODUCCIÓN

La logística y la cadena de suministro (CS) son temas comunes en los negocios, en la industria y en casi cualquier ámbito, ya que través del tiempo se ha podido constatar que estos dos temas van de la mano y que, si se gestionan de manera adecuada, brindarán un buen desarrollo, alta productividad, ganancias económicas y el éxito de la compañía.

A su vez los altos niveles de competencia han llevado a las organizaciones al establecimiento de actividades en la búsqueda del excelente desempeño y, términos como la Gestión de la Cadena de Suministro (GCS), la Integración de la Cadena de Suministro (ICS) y la Gestión por Eventos en la Cadena de Suministro (GECS) surgen para describir procesos cuyo objetivo final es asegurar la entrega de un producto en el tiempo correcto, en la cantidad correcta y en el lugar correcto de acuerdo a lo requerido por el cliente. A pesar de ello, estos temas están solo en la agenda de aquellas empresas de clase mundial donde el nivel de competencia es muy exigente y donde la perfección en la ejecución de los procesos **internos** por sí solos no garantizan el éxito en el mercado.

Actualmente, el uso de tecnologías de información y comunicaciones (TIC), las técnicas de minería de datos (*data mining*) y las técnicas de simulación aplicadas a la CS, son cada vez más requeridas para tener conocimiento del entorno de ésta en

la organización, esto debemos aprovecharlo al máximo, porque a través de ellas se puede tener información precisa y oportuna sobre lo que sucede o está por suceder, visualizar diferentes escenarios para tener alternativas de respuestas o soluciones, reaccionar a tiempo con acciones preventivas o correctivas inmediatas y garantizar no solo el buen desempeño de una empresa u organización, sino de toda la red en la CS.

Finalmente, el mercado global exige continuos cambios y retos, gestionar correctamente una CS no solo es administrar los procesos de ésta hasta que llegue el producto al cliente, significa además, buscar continuamente mejoras para enfrentar los nuevos desafíos que se presentan y, una herramienta tecnológica para su logro es la GECS, la cual, puede cubrir la brecha que existe aún entre la ICS y la GCS, pues estas están lejos de visualizar, anticipar, analizar, colaborar y resolver desviaciones que pueden ser trascendentes. Para lo anterior, hoy en día gracias al mejor control de datos en tiempo real, las empresas recurren a la tecnología y herramientas que brindan una mayor capacidad analítica para disminuir los posibles desvíos de la planificación en términos de no comprometer el desempeño esperado.

1.1 ANTECEDENTES

En las últimas décadas las empresas se han convertido sustancialmente más globales y por ende sus CS son más complejas. Cuando hablamos de globalización no solo nos referimos al hecho de que geográficamente las empresas se extienden a través del mundo, sino que también implica relaciones con otras compañías alrededor del planeta, es decir, que la relación con terceros aumenta, para lo cual se busca integrar a estos de forma colaborativa para una correcta gestión.

Con la globalización y complejidad de las CS hacen que éstas sean cada vez más vulnerables, cualquier desviación al plan o disrupción puede trascender en los diferentes niveles de una CS. Una búsqueda de literatura orientada a las disrupciones

y a disminuir la vulnerabilidad de CS arrojó como resultado una serie de metodologías y herramientas tratando estos temas, GECS es una de ellas, la cual contribuye a disminuir el efecto dominó en CS globales. Puesto que las disrupciones no son predecibles, se debe estimar proactivamente medidas correctivas para anticiparse a una mayor propagación y acelerar la estabilización, buscando siempre asegurar el buen desempeño de la CS global.

1.2 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

Una gestión de la Cadena de Suministro (CS) exitosa, como cualquier proceso, requiere planes a fin de lograr los objetivos.

Durante la ejecución del plan normalmente ocurren desviaciones, también llamados eventos disruptivos (ED¹), que ponen en riesgo la satisfacción del cliente debido a que se pueden ver afectados los tiempos de cumplimiento, además, de altos costos para remediar los daños y ante los cuales se tienen deficiencias para reaccionar; las notificaciones que se hacen cuando un ED ocurre son por medio de reportes en correo electrónico, llamadas o mensajes que carecen de información concreta y sobre la cual no se proyecta la magnitud del impacto que el evento tiene o tendrá, ya que, entre más tiempo pase para tomar una acción correctiva el problema puede magnificarse a lo largo de la CS.

¹Los ED en la CS son eventos no deterministas desencadenantes de problemas y de transiciones de estado de algún tipo de objeto. Las perturbaciones, interrupciones, mal funcionamiento y otros conceptos con un impacto negativo son referidos como ED, que además, se pueden propagar a través de muchos niveles de un sistema (Zimmermann, 2006)

1.3 OBJETIVO GENERAL

Proponer una herramienta que gestione eventos disruptivos con efecto dominó, así como acciones de recuperación en la cadena de suministro que puedan afectar la ejecución de lo planificado, controlando y resolviendo el evento de una manera eficiente.

1.3.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Identificar y contrastar los ED en un nivel de impacto o importancia cuando estos ocurren en tiempo real en un proceso o eslabón débil de la cadena de suministro de la industria automotriz con efecto dominó.
2. Controlar el ED por medio de la notificación en tiempo real a los involucrados asociados a dicho evento.
3. Evaluar y determinar los posibles escenarios del ED para conducir a un mejor entendimiento de los eslabones de la CS afectados y por consiguiente sugerir estrategias que reduzcan el efecto.

1.4 HIPÓTESIS

Se podrá controlar y resolver ED en la CS con efecto dominó, de una manera eficiente, si los involucrados en tomar acciones al respecto, son notificados por medio de una herramienta que identifique y prediga dichos eventos para tomar acciones de recuperación a lo largo de los procesos logísticos de la CS.

1.5 JUSTIFICACIÓN

Las decisiones tomadas ante el surgimiento de un ED o ante la desviación de un proceso previamente planeado, la mayoría de las veces siempre resulta en incurrir en una penalización significativa para compensar el tiempo perdido cuando no se detecta y se responde a tiempo a los cambios imprevistos en las operaciones planificadas de la cadena de suministro.

Siendo la industria hoy en día tan exigente que para poder competir y mantenerse en el mercado, debe enfrentar retos importantes como la eficiencia y la reducción de costos, es imprescindible contar con herramientas que le permitan monitorear en todo momento el desempeño de cada actividad; ya que, si algo diferente a lo planeado ocurriera por muy pequeña que fuera la variación en una operación clave, ésta puede afectar en cierta magnitud aquellos sistemas complejos y mayúsculos.

La producción de una alteración inicial puede ampliarse y ocasionar a corto o mediano plazo de tiempo un efecto grandemente considerable al resto de los procesos o actividades si no se detecta y comunica a tiempo para que el resto pueda tener una respuesta oportuna a eventos críticos de excepción en las cadenas de suministro.

Por otra parte, existen desviaciones a las cuales se les asignan recursos, tiempo y un sentido de urgencia que en realidad no se requiere pues su alteración no es trascendente y, lo que habría sido solo una falla termina ocasionando un costo que pudo ser una oportunidad de colaboración mutuamente beneficiosa para la CS por la holgura de los procesos consecutivos.

Finalmente, conviene destacar que Christopher (2005) expresa que: «la competencia de hoy no tiene lugar entre empresas, sino entre las cadenas de suministro», lo que significa que se deben tomar acciones conjuntas en cadena de suministro, no de manera interna en las empresas si es que se quiere tener una ventaja competitiva, y, una solución colaborativa por medio de la GECS tiene esta virtud.

1.6 ALCANCE

Pese a que GECS monitorea cualquier ED en cualquier proceso de la CS, el presente trabajo se centrará en ED con efecto dominó (*Ripple Effect RE*) en una CS de la industria automotriz, destacando que este sector ha favorecido al desarrollo de tecnología y métodos de vanguardia al ser reconocido como los de grandes ganancias y de gran aportación al PIB de aquellos países donde esta industria se encuentra localizada, en México por ejemplo, de acuerdo con el Banco Nacional de Comercio Exterior S.N.C. Bancomext (2017), el sector automotriz es uno de los sectores de la economía con mayor dinamismo y tasas de crecimiento superiores al resto de los sectores, en 2016, este sector representó 3.6 % del Producto Interno Bruto (PIB) nacional y el 18 % del PIB manufacturero, y de 2012 a 2016, la producción nacional de vehículos presentó una tasa de crecimiento anual promedio de 4.7 %, lo que le permitió a México incrementar su producción a 3.4 millones vehículos. En la actualidad, México ocupa el séptimo lugar como productor de vehículos a nivel mundial, con un valor de exportaciones por encima de los 110,000 millones de dólares al cierre de 2016, y es la cuarta nación exportadora en el ramo, detrás de Alemania, Japón y Estados Unidos. Por lo anterior, esta industria es también aquella con las mayores pérdidas ante una disrupción debido a que trabajan bajo esquemas de manufactura justo a tiempo (*Just in Time JIT*) y justo en secuencia (*Just in Sequence JIS*), donde una disrupción puede tener grandes consecuencias y trascendencia en los diferentes niveles de la CS, una característica particular del RE.

1.7 METODOLOGÍA PROPUESTA

Se aplicará una investigación documental para recabar información sobre los eventos disruptivos con mayor impacto en costo de la industria automotriz para posteriormente aplicar la metodología propuesta por la GECS en sus 5 funciones básicas, que según Knickle y Kemmeter (2002) son:

1. Monitorear: Dar seguimiento de todos los procesos de la cadena de suministro pertinentes de forma segura, partiendo de las tecnologías de la información y comunicaciones que pueden ser utilizados, con el fin de identificar las diferencias o desviaciones que surgen, así como también realizar una comparación con los valores previstos para establecer los límites de tolerancia definidos.
2. Notificar: Partiendo de una desviación crítica de lo planificado es informado en tiempo real a través de la notificación o alerta establecida a aquellos integrantes de la cadena de suministro involucrados para la toma de decisiones adecuada. El tener a tiempo una alerta y tomar acciones reduce el riesgo de problemas mayores en los procesos que pueden afectar el desempeño. Esta situación refleja la naturaleza dinámica de la gestión de eventos de la cadena de suministro.
3. Simular: Después de un evento registrado y que los integrantes de la cadena de suministro han sido notificados, se construyen escenarios en el marco para evaluar el impacto y las opciones alternativas de respuesta, así poder tomar la mejor decisión.
4. Controlar: Con base en el resultado de la simulación la alternativa más prometedora seleccionada inicia su ejecución. El objetivo principal es eliminar la desviación del plan-real del proceso observado.
5. Medir: Calcular y evaluar de los indicadores de desempeño respectivos a los procesos de la cadena de suministro afectados, con la premisa de los objetivos iniciales del desempeño.

1.8 ESTRUCTURA DE TESIS

El presente trabajo consta de 6 capítulos, el primero es una introducción, la cual contiene la descripción del problema, los objetivos generales y específicos, la hipótesis, la justificación y un pequeño extracto de la metodología propuesta. En el

Capítulo 2 se presentan algunos conceptos y definiciones de CS, así como conceptos e información relacionada con la GECS, se realiza una descripción de lo que es esta metodología así como en lo que se fundamenta la utilización de la misma por medio de una revisión de literatura exhaustiva y la comparación de diversos métodos similares en el abordaje de problemáticas similares. En este mismo capítulo se describen diversas herramientas que apoyan la metodología de GECS en sí en cada una de sus funciones. En el Capítulo 3 se describe la metodología de GECS de forma descriptiva, en ésta se realiza una descripción detallada de cada función de acuerdo a la revisión de literatura de GECS en sí para ser aplicada en el proyecto. El Capítulo 4 se presenta la metodología pero de una forma analítica de GECS, es decir, un análisis escrutinio de cómo se implementaría la herramienta bajo las condiciones dadas del caso de estudio en la experimentación. El Capítulo 5 consta del análisis y resultados de la experimentación con el caso de estudio. Y finalmente el Capítulo 6 describe las conclusiones del trabajo presente, las contribuciones del mismo a la logística y CS, las posibles líneas de investigación y trabajo a futuro, así como las limitaciones de llevar a cabo la herramienta propuesta.

CAPÍTULO 2

MARCO TEÓRICO

En este capítulo se presenta la base teórica desarrollada que busca aportar los elementos necesarios para proponer la herramienta de GECS que permita dar una solución colaborativa en una CS. Se inicia con una exposición conceptual de lo que es CS, logística y GECS, además de cómo ésta última está situada en este contexto. Se documenta también la revisión de literatura donde se detecta y consulta de diversas fuentes bibliográficas para recopilar información relevante, con las variables de la propia investigación, para concluir esta sección, se determina qué estudios o investigaciones se han realizado al respecto y cuáles se descartan, de esta forma poder hacer una comparación de GECS contra otros métodos enfocados a la solución de interrupciones en la CS. Se ostenta además, cada una de las funcionalidades o procesos de GECS y los diversos aspectos a tomarse en consideración para llevar a cabo cada una de ellas en la metodología. Finalmente, se hace referencia a temas de actualidad como motor para el desarrollo de GECS.

2.1 CADENA DE SUMINISTRO Y LOGÍSTICA

Basado en las ideas de Chopra y Meindl (2008), una CS está formada por todas aquellas partes involucradas de manera directa o indirecta en la satisfacción de la solicitud de un cliente, ésta además, se basa en la logística para poder llevar a cabo

dicha solicitud.

Logística, es definida por Council of Supply Chain Management Professionals (2013) como el proceso de planificación, implementación y control de procedimientos para el transporte y almacenamiento eficiente y efectivo de bienes, incluidos los servicios, así como la información relacionada desde el punto de origen hasta el punto de consumo con el fin de cumplir con los requisitos del cliente. Esta definición, incluye movimientos entrantes, salientes, internos y externos. Muy a menudo la logística integra algunos procesos como la gestión del transporte, la gestión de inventarios, compras, producción, distribución, entre otros, dependiendo del tipo de producto y/o servicio.

Por su parte, Ballou (2004) incluye que «la cadena de suministro abarca todas las actividades relacionadas con el flujo y transformación de bienes, desde la etapa de materias primas hasta el cliente final, así como el flujo de información y dinero, donde dichos flujos van en sentido ascendente y descendente».

Lo anteriormente citado se puede apreciar gráficamente en la Figura 2.1 basada en el modelo de CS donde situamos a la GECS como integración de los procesos en los que se apoya la logística y la CS.

Pero para que una empresa, negocio u organización trabaje bajo el enfoque de CS es necesario que ésta se encuentre integrada y que los distintos nodos de la cadena participe en cada uno de sus procesos de forma colaborativa, desde la obtención de las materias primas, hasta la entrega del producto terminado al cliente final.

La integración de la cadena de suministro (ICS) permite que el flujo de bienes, información y dinero se lleve a cabo de manera correcta a lo largo de ésta (Figura 2.1), además, la integración entre los miembros de una cadena de suministro facilita la cooperación entre empresas y la colaboración tanto de los proveedores, como de los clientes y entre los socios de negocios. Hoy en día, la ICS se considera como una piedra angular de la gestión, y por lo general, incluye varios procesos dentro y fuera de los límites de las empresas en particular.

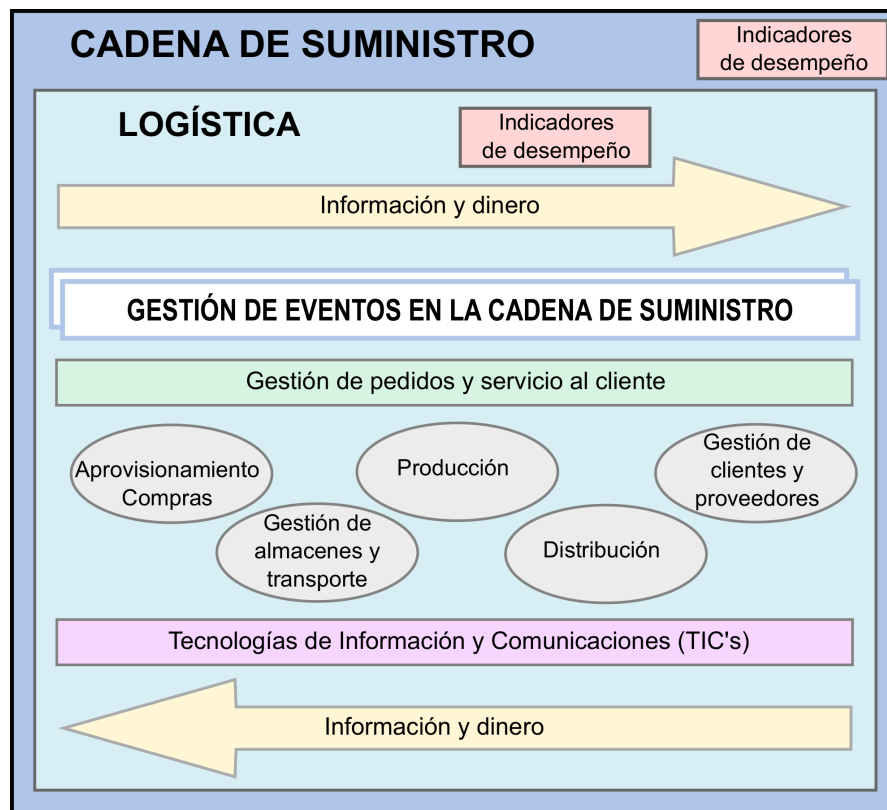


Figura 2.1: Modelo de cadena de suministro

Fuente: Elaboración propia basada en Zuluaga *et al.* (2014)

De manera similar, para Hugos (2010) la gestión de la cadena de suministro (GCS) es la coordinación de procesos como la producción, los inventarios y la transportación a través de todos los participantes de la CS y logra la mejor composición de responsabilidad y eficiencia para el mercado que se atiende.

Stevens (1989) contrasta los conceptos anteriores y generaliza que el propósito de de la ICS y la GCS es sincronizar los requerimientos del cliente con los flujos de materiales o bienes de los proveedores, con el fin de efectuar un balance entre el servicio al cliente, la inversión en inventarios y el costo unitario del producto.

Un aspecto importante para integrar una CS es la evolución del papel desempeñado por las Tecnologías de la Información y de Comunicaciones (TICs). Los investigadores coinciden en que se ha demostrado que el intercambio de información crítica, en contexto y en tiempo real, reduce el inventario dramáticamente y mejora

el rendimiento en todos los niveles de la CS (Crespo, 2010), ya que la información proporciona **visibilidad** a lo largo de la cadena. La información compartida se ha unido a las filas de la integración y la automatización como un sello distintivo de la ventaja competitiva en las CS, es así que, compartir dicha información genera la **colaboración** entre los miembros conectados que intervienen en ésta y a su vez **proactividad** para anticiparse a la toma de decisiones en orden de prevenir disrupciones.

Existe una herramienta llamada GECS, que se fundamenta en los aspectos antes citados, que, al mismo tiempo, es un impulsor de la ICS.

2.2 GESTIÓN POR EVENTOS EN LA CADENA DE SUMINISTRO

De acuerdo a la literatura consultada GECS surge en Alemania de la evolución de sistemas de gestión de inventarios y sistemas para la gestión de pedidos con capacidades de seguimiento y localización. Este concepto es mayormente conocido por su nombre y acrónimo en inglés *Supply Chain Event Management* (SCEM). En adelante se utilizará indistintamente GECS y SCEM para referirnos al mismo concepto.

ARC Advisory Group (2002) define la GECS como parte de la Gestión de Procesos de Cadena de Suministro que identifica y monitorea eventos inesperados o eventos disruptivos en la CS.

A continuación se incluyen otras definiciones de este concepto que se han encontrado dentro de la revisión de literatura, estas son:

1. Norek y Scott (2004), es la gestión de la información relativa a una multitud de eventos a través de una cadena de suministro, un evento es cualquier

acontecimiento o ocurrencia dentro de una función o proceso de la cadena de suministro que pueda ser monitoreado y reportado.

2. La gestión por eventos en la cadena de suministro capta, monitorea y evalúa eventos dentro de una empresa y entre empresas, donde se forma un puente entre la planificación logística y la implementación del plan, mediante el análisis automatizado de datos de numerosos puntos de medición a lo largo de toda la red logística, se detectan y se remedian los problemas en una fase temprana (Nissen, 2002).
3. Los procesos y sistemas que alertan a las empresas de cualquier cambio no planificado en las líneas de suministro u otros eventos para que puedan responder con alternativas. El conjunto de funcionalidades integradas cruza los cinco procesos comerciales de Monitorear, Notificar, Simular, Controlar y Medir las actividades de la cadena de suministro (Ijioui *et al.*, 2007).

Aunque existen distintas definiciones de GECS propuestas por diferentes autores, todas ellas tienen en común el brindar información temprana por medio de un monitoreo de un evento que se sale de lo planificado en una CS a fin de responder a tiempo. Y, comprendiendo dichas definiciones, se puede denotar que un elemento central de esta herramienta es el evento, llamado en este contexto **evento disruptivo**.

2.3 EVENTO DISRUPTIVO

De manera similar que, con la GECS en sí, hay una serie de interpretaciones diferentes en la definición del término de ED, que se presentan a continuación.

1. Un evento o eventualidad según la Real Academia Española (2014) es «algo que escapa a los límites de lo planificado».

2. Los ED se basan en información de estado sobre objetos logísticos gestionados en procesos logísticos de una cadena de suministro por tiempo y espacio. No se considera un ED hasta que se realiza una evaluación, ésta se lleva a cabo comparando la información de estado de las secuencias de proceso realizadas con las planificadas, teniendo en cuenta una tolerancia definida. Si un estado real se desvía del estado planificado más allá del límite de tolerancia asignado, hay un evento crítico o disruptivo, que implica un impulso de acción obligatorio y este no solo se refiere a un punto insuficiente del objetivo, sino también a un exceso (Stölzle, 2004).
3. ED son aquellos eventos no deterministas desencadenantes de problemas y de transiciones de estado de algún tipo de objeto. Las perturbaciones, interrupciones, mal funcionamiento y otros conceptos para describir un impacto negativo son referidos a este concepto. Se pueden propagar a través de muchos niveles de un sistema (Zimmermann, 2006).

En este contexto y tomando en cuenta las definiciones anteriores, se puede concluir que un ED es aquel estado en el proceso logístico y, que pasa a ser disruptivo cuando este sale de los límites de tolerancia al proceso logístico en cuestión previamente definido, es decir, que provoca una ruptura brusca de la CS alterando su capacidad integradora y de planificación. Además, reside su importancia en el hecho de que, algunos de estos si no son controlado a tiempo pueden causar un grave impacto en el desempeño total de la CS, causando lo que se conoce como efecto dominó.

2.4 EFECTO DOMINO O *Ripple Effect* (RE)

El RE se presenta al existir un ED, con la particularidad de que, en lugar de permanecer localizado éste en un proceso o, contenido en un nivel de la CS, éste se propaga en otros niveles o nodos de la CS e impacta el rendimiento total de ésta.

Dicho impacto podría incluir demoras en la entrega, pérdida de participación en el mercado y reputación, menores ingresos o ganancias, e incluso disminución en el rendimiento de las acciones, un costo devastador para muchas compañías (Hendricks y Singhal, 2005).

En un mundo globalizado, Chopra y Sodhi (2004) describe nueve categorías de riesgos potenciales difícil de gestionar en las CS, porque los riesgos individuales están a menudo interconectados entre sus miembros:

1. Interrupciones (desastres naturales, terrorismo, guerras, etc.).
2. Retrasos (incumplir las fechas de entrega, inflexibilidad en la fuente de suministro).
3. Sistemas (averías en la infraestructura de información).
4. Pronóstico (pronósticos inexactos, efecto látigo, etc.).
5. Propiedad intelectual (la integración vertical).
6. Abastecimientos (riesgo en los tipo de cambio monetario).
7. Cuentas por cobrar (número de clientes).
8. Inventarios (costo de mantener los inventarios, incertidumbre en la demanda y el suministro).
9. Capacidad (costos de capacidad).

Por lo anterior, las tendencias de globalización y tercerización hacen que las CS sean cada vez más complejas, menos observables y controlables, sin embargo, solo algunos de los riesgos mencionados tienen características específicas de un RE.

Dolgui *et al.* (2018) fueron los pioneros en explorar el término RE en profundidad y definir a este como: el resultado de la propagación disruptiva de una interrupción inicial hacia otras etapas de la CS en las redes de suministro, producción y distribución.

El RE, corresponde a ED de baja frecuencia y alto impacto, esto se plasma en la figura 2.2 basada en los autores antes mencionados, donde las interrupciones son altamente impredecibles, por lo cual, su riesgo y estabilización deben evaluarse en etapas tempranas una vez presentado el ED de forma proactiva y más aún, de ser posible, en las etapas de diseño y planificación.

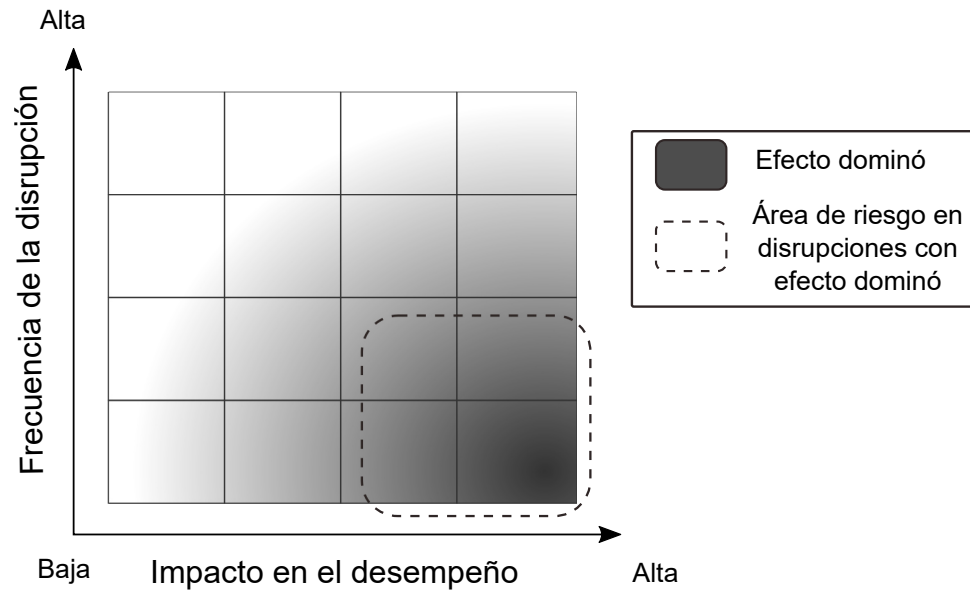


Figura 2.2: Efecto Dominó

Fuente: elaboración propia basada en Dolgui *et al.* (2018)

En las CS muy frecuentemente se presenta otro efecto debido a ED, este efecto es mayormente conocido y citado en la literatura, éste es el efecto látigo. El efecto látigo se da por la variabilidad en la demanda y la falta de información entre las diferentes entidades de una CS, que provocan pronósticos e inventarios inexactos mostrando disminución o excesos en los niveles de *stocks*. Es significativo recalcar cuáles son las diferencias entre el efecto látigo y el RE, que incluyen la frecuencia de los ED, el impacto de la interrupción en el rendimiento de la CS, la duración y el periodo de recuperación, las fluctuaciones de inventarios y los problemas dinámicos estructurales de la CS. Las diferencias entre el efecto látigo y el RE han sido delimitadas en un estudio que se describe en la siguiente tabla de Sokolov *et al.* (2015).

Característica	RE	Efecto látigo
Riesgos	Disrupciones (explosiones, inundaciones, problemas excepcionales de sistemas de información)	Operativos (fluctuaciones en la demanda)
Áreas afectadas	Estructurales y parámetros críticos (nivel de servicio y costos totales)	Parámetros operativos (tiempos ciclo e inventarios)
Tiempo de recuperación	Mediano y largo plazo; donde se requieren importantes esfuerzos de coordinación e inversiones	Corto plazo, se requiere de coordinación y comunicación para equilibrar la oferta y la demanda
Disminución en el rendimiento	Rendimientos a largo plazo (repercusión en las ganancias anuales)	Rendimientos actuales (costos de desabastecimiento, excedentes y costos de mantenimiento de inventario)

Tabla 2.1: Diferencias entre el efecto dominó (RE) y el efecto látigo

Fuente: basado en Sokolov *et al.* (2015)

Una vez analizadas las diferencias entre el RE y el efecto dominó podemos delimitar el tipo de ED a los cuales nos vamos a enfocar para el desarrollo de este trabajo, de ahí que se considera la relevancia de los ED con RE en función de su impacto en el desempeño de una CS global.

2.5 FUNDAMENTOS DE GECS: MÉTODOS ENFOCADOS A LAS DISRUPCIONES DE LA CS

Como se mencionó anteriormente, en los últimos años la globalización ha provocado el que las empresas se extiendan tanto geográficamente como en su relación y dependencia con otras compañías alrededor del planeta, donde la ICS y la GCS se vuelven indispensables para lograr integrar la CS de forma colaborativa si es que se desea permanecer en el mercado competitivo que la globalización ocasiona, ya que por el hecho de la dependencia en terceros, hace más compleja una correcta gestión, es decir, se vuelve la CS más vulnerable ante una disrupción, que casi es inevitable, sobre todo en aquellas que no tienen el suficiente nivel de integración. Ante esto, para

las organizaciones se vuelve imprescindible contar con métodos que disminuyan la vulnerabilidad de las CS.

Las CS pueden verse afectadas de muchas maneras, a lo que en este contexto llamamos ED, además de las categorías de riesgo descritas por Chopra y Sodhi (2004), se sabe que dichas interrupciones pueden darse por factores externos e internos.

Por un lado, existen factores externos de interrupciones que no se pueden controlar o preveer, como:

- desastres naturales, como lo pueden ser huracanes, inundaciones y terremotos.
- accidentes y desastres perpetrados por seres humanos, como ataques terroristas, robos y sabotajes.

Por otro lado, se pueden identificar fuentes internas de interrupciones, como fallas en la integración de todas las funciones en una CS (Sheffi, 2006). Además, las interrupciones en la CS internas pueden ocurrir en una variedad de formas, donde Plenert *et al.* (2012) define cinco áreas de interrupciones de la CS, estas son:

- fallas en el suministro
- fallas en las operaciones de fabricación
- fallas logísticas
- fallas en la información y la tecnología
- falta de capacitación de la fuerza de trabajo.

Se realiza una búsqueda documental extensa, se seleccionan diferentes fuentes como: bases de información, libros y revistas indexadas; en ellas se toman en cuenta diversos factores de importancia sobre el problema de investigación, en este caso enfocado a las interrupciones en la CS y a disminuir la vulnerabilidad de la CS, en ésta se se encontró una serie de métodos diferentes para abordar estos temas.

1. **Localización de recursos:** se utiliza principalmente la base de datos de la biblioteca digital UANL en las áreas temáticas de Ingeniería y Ciencias exactas, así como Economía y Administración, las editoriales fueron las siguientes:

- Emerald Insight <https://www.emeraldinsight.com/>
- ScienceDirect <https://www.sciencedirect.com/>
- Scopus <https://www.scopus.com/>
- Springer <https://www.springer.com/>
- ProQuest www.proquest.com/

Otra fuente son las plataformas digitales de investigación como ResearchGate y GoogleScholar. Palabras clave, para la búsqueda y localización de documentos se utilizan como palabras clave las siguientes:

- «Disrupciones en la CS»
- «Vulnerabilidad de la CS»
- «Colaboración en la CS»
- «ED en la CS»
- «Visibilidad en la CS»
- «Control de la producción adaptativa»
- «Gestión de la disrupción»
- «Administración de riesgos»
- «Administración de la CS»
- «Análisis de la vulnerabilidad en la CS»
- «Gestión por eventos en la CS»

Se descargaron los documentos para ser analizados, incluyendo además aquellos documentos que citan los artículos principales, siendo éstos un total de 96.

2. **Selección de documentos:** con ayuda de un gestor de referencias se da lectura y análisis de los documentos, se realiza un registro de aquellos que presentan métodos similares a GECS y/o que abordan problemáticas similares a las planteadas, en un periodo comprendido del 2002 al 2017. Primeramente, 2002 es el año en que se citan 2 de los artículos base más relevantes para mi investigación en cuanto a GECS y con el término tal cual se le llama a esta herramienta (Nissen (2002) y Knickle y Kemmeter (2002)), por lo que se desea saber qué estudios surgieron a partir de la aparición del término y la tendencia en el método utilizado para abordar la problemática, hasta la actualidad de la revisión de literatura que es el año 2017. Finalmente, se descartan también los documentos que no cuenten con alguna de las 3 características de la metodología GECS, que es: «visibilidad», «colaboración» y «proactividad». Del total de los documentos solo 28 cumplieron las condiciones antes mencionadas.

Cabe mencionar que en esta revisión de literatura no se incluye la «literatura gris», o sea, aquella procedente de fuentes no indexadas.

3. **Comparación:** se realiza un contraste de las posturas de diferentes autores frente al problema investigado y el método de solución propuesto, también se agregó un apartado para denotar si el estudio empataba con alguna de las características de GECS (visibilidad, colaboración y proactividad).

Objeto de estudio	Albino y Garavelli (1995)	McFarlane y Sheffi (2003)	McLay y Black (2006)	Papadakis (2006)	Saad y Kadirkamanathan (2006)	Bartlett <i>et al.</i> (2007)	Manuj y Mentzer (2008)	Francis (2008)	Tuncel y Alpan (2010)	Ivanov <i>et al.</i> (2010)	Tummala y Schoenherr (2011)	Li <i>et al.</i> (2011)	Giamakis y Louis (2011)	Fernandez <i>et al.</i> (2012)	Zegardi y Davarzani (2012)	Guarnaschelli <i>et al.</i> (2013)	Macdonald y Corsi (2013)	Wu <i>et al.</i> (2013)	Ascencio <i>et al.</i> (2014)	Huang <i>et al.</i> (2014)	Genc <i>et al.</i> (2014)	Bautista-Santos <i>et al.</i> (2015)	Schuh <i>et al.</i> (2015)	Ivanov <i>et al.</i> (2016)	Thekdi y Santos (2016)	Bode y Wagner (2016)	ShanLoh <i>et al.</i> (2017)	Schorsch <i>et al.</i> (2017)
Disrupciones en la CS	●	●	○	○	○	●	●	●	●	●	●	○	●	●	●	○	●	●	●	●	●	●	●	●	○	●	○	●
Visibilidad	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗	✗
Colaboración	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✓	✗	✓	✓	✓	✓
Proactividad	✗	✗	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✗	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✗	✓	✗	✗	✓	✗	✗	✗	✓
Simbología																												
Disrupción en la CS acorde con la problemática ●														Disrupción en la CS diferente con la problemática ○														
Cumple con la característica de GECS ✓														No cumple con la característica de GECS ✗														

Tabla 2.2: Comparación de métodos enfocados a ED en CS

Fuente: elaboración propia

La importancia de este estudio para la generación de esta tabla radia en saber más de la problemática tratada por diferentes autores, y otorga una perspectiva del tema al ver la relación que existe entre las variables y conceptos clave como «visibilidad», «colaboración» y «proactividad». Como puede apreciarse en la tabla 2.2 el periodo comprendido de la revisión de literatura denota abordar las problemáticas de disrupciones en la CS por diferentes métodos cuantitativos, con una tendencia marcada a la colaboración y la proactividad entre los miembros de la cadena, aunque, descuidando o no haciendo inferencia a la proactividad. En este sentido se justifica la inclinación hacia el uso de la metodología GECS que es una herramienta holística con respecto a sus 3 principales características.

En seguida en la tabla 2.3 se realiza un análisis más escrutinio de los mismos 28 documentos, haciendo una lectura crítica de los documentos, el objetivo de planteado en esta revisión es identificar el tipo de disrupción o procesos vulnerables que se abordan, el método utilizado y las limitaciones o áreas de oportunidad que éste tiene, a fin de comprender, comparar y contrastar más a detalle la revisión de literatura. Lo anteriormente mencionado se concentra en la siguiente tabla.

Autor y año	Tipo de disrupción o procesos vulnerables	Método utilizado	Límitaciones y/o áreas de oportunidad	Visibilidad	Colaboración	Proactividad
Albino (1995)	Disrupciones generales	Modelo Markov	No suele acercarse a la realidad	✗	✓	✗
McFarlane y Sheffi (2003)	Disrupción en la rastreabilidad durante la transportación	<i>Track and trace</i> RFID	Solo se enfoca a la rastreabilidad y locación en el transporte	✗	✗	✓
Mckay y Black (2006)	Disrupciones para la programación de la producción	Planificación jerárquica de la producción	No es una herramienta proactiva y escapan algunas suposiciones de la realidad	✗	✓	✗
Papadakis (2006)	Disrupciones causadas por desastres naturales y disrupciones en el diseño de la CS	Análisis de sistemas push vs sistemas pull	Análisis empírico	✗	✗	✓
Saad y Kadir-kamanathan (2006)	Cambios en la demanda, alteración en los inventarios, perturbaciones en la capacidad de producción	Modelo de simulación de eventos discretos	No se considera a los demás miembros de la CS, se abarca sólo lo interno de la empresa en cuestión	✗	✗	✓
Bartlett <i>et al.</i> (2007)	Visibilidad a través de la planificación de la capacidad, suministro de materiales y gestión de inventarios	Iniciativas conjuntas y desempeño empresarial	No es una herramienta proactiva sistemáticamente y es muy administrativa	✓	✓	✗
Manuj y Mentzer (2008)	Seis riesgos detectados la CS globales (Cambios monetarios, tiempo de tránsito, pronósticos, calidad, seguridad, disrupción de negocio y supervivencia después de un desastre)	Gestión de riesgos	Es una metodología para la construcción de teoría	✗	✗	✓
Francis (2008)	Problemas de visibilidad en la distribución	Visibilidad en la CS	No es una herramienta holística y sistemática, se basa en teoría de revisión de literatura	✗	✗	✓
Tuncel y Alpan (2010)	Riesgos en la CS	Gestión de riesgos con AMEFs y redes de Petri	Dado que los problemas del mundo real son complejos, existirían supuestos que no encajan a problemas a gran escala	✗	✗	✓
Ivanov <i>et al.</i> (2010)	Hacer más flexibles y ágiles las CS	Modelo dinámico con herramientas para la planificación y el control	Aplicable el modelo sólo para productos únicos y sin estrictas políticas de calidad	✗	✓	✗

Tabla 2.3: Revisión de métodos utilizados para eliminar las disrupciones en la CS (continua)

Autor y año	Tipo de interrupción o procesos vulnerables	Método utilizado	Límites y/o áreas de oportunidad	Visibilidad	Colaboración	Proactividad
Tummala y Schoenherr (2011)	Interrupciones y desarrollo de planes de contingencia en el diseño y rediseño de la CS	Proceso de gestión de riesgos en las CS	Método enfoca sólo a la evaluación de proyectos	✗	✗	✓
Li <i>et al.</i> (2011)	Interrupciones en el plan de producción	Control de la producción adaptativa, Petri-nets y Heurísticas	Para sistemas de manufactura <i>EngineToOrder</i> , no toma en cuenta otros nodos de la CS	✗	✗	✓
Giannakis y Louis (2011)	Interrupciones generales en la CS	<i>Supply Chain Risk Management</i> , simulación basada en agentes	No es una herramienta proactiva y escapan algunas suposiciones de la realidad	✗	✓	✗
Fernandez <i>et al.</i> (2012)	Interrupciones en la planificación de la CS	SCEM, modelo de redes bayesianas	Permite modelar una función genérica para cualquier proceso de suministro. Para una función de predicción particular se debe desarrollar e implementar el modelo de referencia específico correspondiente y sus reglas de transformación.	✓	✓	✓
Zegordi y Davarzani (2012)	Interrupciones en el suministro de partes	Redes de Petri	Algunos parámetros como la probabilidad de ocurrencia y su impacto, son muy difíciles de estimar con precisión, esto un área de investigación futura	✗	✓	✓
Guarnaschelli <i>et al.</i> (2013)	Cambios de programación	SCEM-Modelo de verificación de viabilidad y restauración	Se asume que no hay restricción en la compartición de información	✓	✓	✓
Macdonald y Corsi (2013)	Interrupciones generales en la CS	Gestión de la interrupción	Se limita al período que abarca desde el comienzo del evento de interrupción hasta su final efectivo, no toma en cuenta la gestión de riesgos	✗	✓	✗
Wu <i>et al.</i> (2013)	Interrupciones generales en la CS	<i>Disruption Analysis Network</i> - Petri Nets	Se pierde información importante por el nivel de abstracción	✗	✓	✓
Ascencio <i>et al.</i> (2014)	Medir los impactos relacionados de la propagación de interrupciones en la CS causados por actos criminales	Logistics Management Platform System (LMPS), concentrado de TIC's aplicadas a la CS como VSM, OMS, DMS, etc.	Centralización de sistemas y los ajustes constantes con la compatibilidad de sistemas	✗	✓	✓

Tabla 2.3: Revisión de métodos utilizados para eliminar las interrupciones en la CS (continua)

Autor y año	Tipo de disrupción o procesos vulnerables	Método utilizado	Límitaciones y/o áreas de oportunidad	Visibilidad	Colaboración	Proactividad
Huang (2014)	Disrupciones en los procesos de flujo de la CS	Modelo de integración de la CS y análisis de regresión	No incorpora el modelo incertidumbre y no involucra a una red extendida de la CS	✗	✓	✗
Genc et al. (2014)	Identificación de eventos críticos en general	<i>Early Warning System for an Adaptive Production Control</i>	El uso de RFID, ya que no todos los productos cuentan con esta tecnología de rastreo.	✗	✗	✓
Bautista-Santos et al. (2015)	Disrupciones en el diseño de la CS	Modelo de integración de CS - Lógica difusa	Solo se hace referencia al nivel de integración	✗	✓	✗
Schuh et al. (2015)	Desviaciones de los flujos de proceso planeados	Simulación con Dinámica de Sistemas basado en el Modelo de CS de Sterman	No se sabe cómo impacta la Interdependencia entre los miembros de la CS	✗	✗	✓
Ivanov et al. (2016)	Disrupciones de efecto dominó	Pogramación lineal entera y simulación	No se cuenta con bucles de control y la informática para incorporar la información en tiempo real	✗	✗	✓
Thekdi y Santos (2016)	Disrupciones en operaciones en operaciones portuarias	Análisis de riesgo mediante un modelo matemático y un modelo de evaluación de resiliencia	No se incluye una evaluación estocástica, en un futura gregar la probabilidad de eventos al modelo	✗	✓	✗
Bode y Wagner (2016)	Disrupciones de una encuesta	<i>Supply Chain Risk Management</i> , índices de correlación para mitigar los impactos de disrupciones en la CS	No se anticipa al escenario de un riesgo	✗	✓	✗
ShanLoh et al. (2017)	Disrupciones en puertos	Resiliencia, <i>Fuzzy comprehensive evaluation, Risk assessment</i>	No se anticipa a eventos futuros	✗	✓	✗
Schorsch et al. (2017)	Disrupciones en los procesos de CS	Gestión de la Cadena de Suministro, un modelo de planificación colaborativa y diseño de experimentos	Introducción de un sistema de pronósticos	✗	✓	✓

Tabla 2.3: Revisión de métodos utilizados para eliminar las disrupciones en la CS

Con base en la revisión de literatura, se puede observar los diferentes enfoques, cómo las disrupciones en CS son tratadas, y que se basan, en su mayoría, tratando de representar y evaluar el proceso en cuestión mediante modelos de simulación y modelos de matemáticos, es decir, hay una tendencia hacia el uso metodologías meramente cuantitativas, y, obteniendo los *inputs* para el modelo por medio de un monitoreo y métricas de la disrupción. En este sentido y haciendo una evocación de las 5 funciones básicas de la GECS, tres de éstas, el monitoreo, la simulación y la medición, fueron trascendentes en la metodología usada para la eliminación de disrupciones en la CS de la bibliografía revisada.

Es así que se determina que la metodología GECS aporta una forma holística a la solución de problemáticas en la CS cumpliendo con las características de «visibilidad», «colaboración» y «proactividad», además, de hacerlo por medio de un ciclo completo que va a través de las 5 funciones de esta herramienta dando una constante retroalimentación al sistema que sirve a que un ED no vuelva a ocurrir.

2.6 METODOLOGÍA DE GECS

La metodología general de GECS está basada en sus 5 funciones monitoreo, notificación, simulación, control y medición. A continuación se describe cada una de ellas de acuerdo a una revisión de literatura realizada.

1. **Monitoreo:** el monitoreo es una actividad continua, para Knickle y Kemmeter (2002) la función de monitoreo implica detectar eventos disruptivos relevantes en tiempo real; mencionan también que, para llevar a cabo esta funcionalidad, se deben llevar a cabo cuatro actividades principales de monitoreo durante la ejecución de un plan, que se describen a continuación:

- Monitoreo de cambios en la disponibilidad futura esperada de un recurso:

el objetivo es capturar cambios significativos de los valores planeados de la disponibilidad futura de un recurso.

- Monitoreo del progreso de la orden: donde se monitorean las órdenes de ejecución continuas para predecir proactivamente si un evento disruptivo afecta la finalización esperada de la orden. Esto implica capturar cambios significativos en cualquier variable que mida el progreso del pedido o que tenga una relación predictiva con este progreso. Por lo general, son variables en el entorno de ejecución que se utilizan como predictores de posibles interrupciones.
- Monitoreo del estado actual de la viabilidad de los recursos: en este se capturan cambios significativos en el valor actual de cualquier atributo de un recurso que sea crítico para garantizar su viabilidad.
- Monitoreo de los cambios de especificación de orden: el objetivo de éste es capturar cambios independientes de los valores de especificación de pedido, es decir, hora de inicio, cantidad o tiempo de finalización. Por independiente, nos referimos a modificaciones originales a la especificación de pedido, no como consecuencia derivada de ajustar el orden en respuesta a otros eventos disruptivos.

El proceso de monitoreo consiste en el seguimiento, la observación y la evaluación del evento.

La observación de eventos se refiere a la comparación del estado de un recurso o entidad en el proceso logístico de la CS, basándose en los sistemas con los cuales cuentan los miembros de la CS. Dichos sistemas son básicamente las diferentes TIC's, de donde se extrae la información para reconocer el estado de un recurso. En lo sucesivo se utilizará el término recurso o entidad indistintamente. Por ejemplo: *e-Sourcing* proporciona el estatus de orden de compra, fechas de entrega, entre otros; MRP (*Material Requirement Planning*) proporciona información del *lead time* de producción, calidad de las piezas fabricadas y demás; TMS (*Transportation Management System*) el posicionamiento de

una carga o envío con respecto al plan, tiempo de espera del envío por tránsito pesado, tiempo de traslado, etc.

La evaluación del evento radica en que una vez obtenido el estado de la entidad, se procede a realizar una comparación de los parámetros para esta, donde se determina si éste se encuentra dentro o fuera de los niveles de tolerancia del valor planeado de acuerdo con la figura 3.3. Si el estado de la entidad presenta desviaciones, pero estas se encuentran dentro de tolerancia, se sigue entonces las «Reglas del negocio». Por el contrario, si el estado de la entidad se encuentra fuera de la tolerancia, esto significa que hay un evento no planificado, en lo cual no hay reglas de acción para este y pasa a ser un ED. Independientemente de la naturaleza de un evento, mayor será el margen para tomar medidas correctivas al tener conocimiento del evento crítico cuanto más pronto se le notifica a los responsables o dueños de proceso de una manera adecuada.

En el proceso de monitoreo se consideran dos tipos: el predictivo y el reactivo.

El **predictivo** según Fernandez *et al.* (2015) es capaz de anticipar un evento disruptivo cuando hay suficiente evidencia de su ocurrencia, es decir, cuando al recopilar datos del estado de la entidad o datos del entorno (como condiciones meteorológicas o congestión en tránsito) y cambios en la disponibilidad esperada de recursos (como averías de equipos o daño de materiales), entonces, el monitoreo predictivo debe poder anticipar un posible cambio en el cumplimiento de una orden o pedido.

En cuanto a este tipo de monitoreo, se puede decir que, a diario nos enfrentamos con situaciones en las que debemos tomar decisiones partiendo de información imprecisa o incompleta, por lo que el tomador de decisiones debe hacer algunas suposiciones y, de esta forma ser capaz de anticiparse a un problema en la CS. En la actualidad, existen herramientas y métodos que brindan ayuda a minimizar la incertidumbre, entre los métodos utilizados para manejar dicho problema son los algoritmos o métodos de predicción.

Los algoritmos o métodos de predicción son un conjunto de heurísticas y cálcu-

los que permiten crear un modelo a partir de datos. Para crear un modelo, el algoritmo analiza primero los datos proporcionados, en busca de tipos específicos de patrones o tendencias. Este a su vez usa los resultados de este análisis en un cierto número de iteraciones para determinar los parámetros óptimos para crear un modelo de minería de datos (Microsoft, 2016).

Existe una clasificación inicial de las técnicas de minería de datos descrita por Pérez (2007) que distingue éstas, las cuales son: las técnicas predictivas, en las que las variables pueden clasificarse en dependientes e independientes; técnicas descriptivas, en las que todas las variables tienen el mismo estatus y técnicas auxiliares, en las que se realiza un análisis multidimensional de datos. En la figura 2.3 se muestra una clasificación de las técnicas de minería de datos.

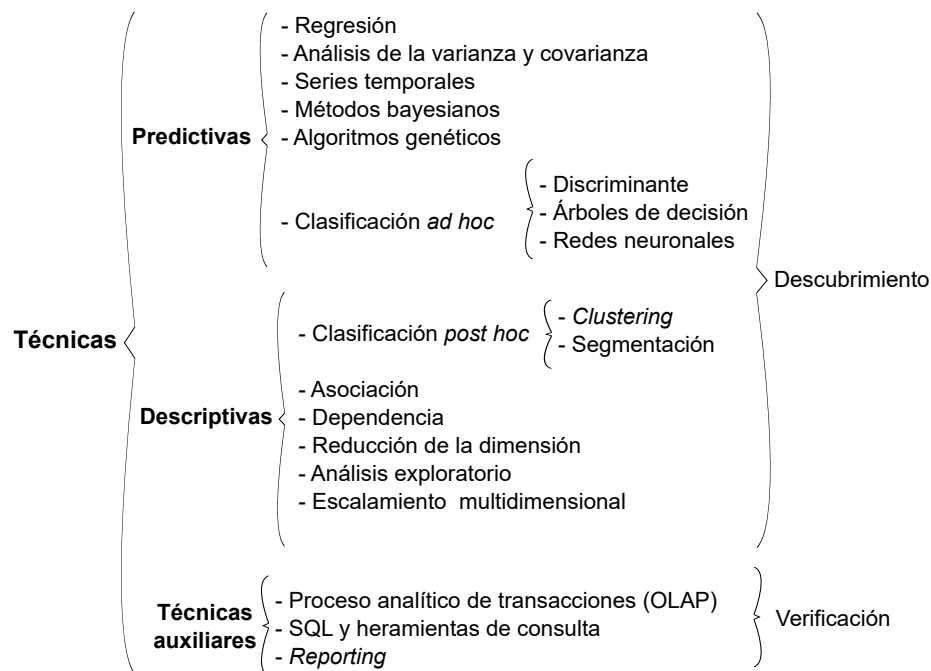


Figura 2.3: Clasificación de las técnicas de *Data Mining*

Fuente: Pérez (2007)

Dentro de esta clasificación, las técnicas que competen al monitoreo predictivo son precisamente las predictivas

- **Regresión:** es la técnica más básica de la minería de datos. Un modelo de regresión lineal se implementa identificando una variable dependiente

- y y todas las variables independientes (X_1, X_2, \dots, X_n). Se asume que la relación entre estas y aquella es lineal. Todas las variables han de ser continuas. El resultado es la ecuación de la recta que mejor se ajusta al juego de datos y esta ecuación se interpreta o se usa para una predicción.
- **Análisis de la varianza y covarianza:** también llamada ANOVA, contrasta si existen diferencias significativas entre las medidas de una o más variables continuas en grupos de población distintos.
 - **Series temporales:** Consisten en el estudio de una variable a través del tiempo para, a partir de ese conocimiento, y bajo el supuesto de que no van a producirse cambios estructurales, poder realizar predicciones. Suelen basarse en un estudio de la serie en ciclos, tendencias y estacionalidades, que se diferencian por el ámbito de tiempo abarcado, para, por composición, obtener la serie original. Se pueden aplicar enfoques híbridos con los métodos anteriores, en los que la serie se puede explicar no sólo en función del tiempo sino como combinación de otras variables de entorno más estables y, por lo tanto, más fácilmente predecibles.
 - **Métodos bayesianos:** son modelos gráficos probabilísticos utilizados en la toma de decisiones, es decir, el método bayesiano representa el conocimiento incierto y que permite el razonamiento basado en la teoría de la probabilidad. Una red bayesiana representa una función de distribución conjunta sobre un conjunto finito de variables. Ésta se compone de dos partes: una parte cualitativa, que es una estructura gráfica o grafo que describe las posibles entidades (también llamadas variables) y dependencias entre estas; la parte cuantitativa por otro lado esta compuesta por probabilidades condicionadas que representan la incertidumbre del problema, dicho de otro modo, las supuestas relaciones causa efecto o dependencia condicional directa entre los nodos (Fernandez *et al.*, 2010).
 - **Algoritmos genéticos:** los algoritmos genéticos son una técnica inspirada en la Biología. Estos algoritmos representan la modelización matemática

de como los cromosomas en un marco evolucionista alcanzan la estructura y composición más óptima en aras de supervivencia. Entendiendo la evolución como un proceso de búsqueda y optimización de la adaptación de las especies que se plasma en mutaciones y cambios en los genes o cromosomas. Los algoritmos genéticos hacen uso de las técnicas biológicas de reproducción (mutación y cruce) para ser utilizadas en todo tipo de problemas de búsqueda y optimización. Esta aproximación está enfocada a problemas de optimización. Se comienza con una población de partida y se va alterando y optimizando su composición para la solución de un problema particular mediante mecanismos tomados de la teoría de la evolución (introducir elementos aleatorios para la modificación de las variables o mutaciones). El material genético o información de los individuos puede ser transmitido a las siguientes generaciones, de diferentes formas que van optimizando el proceso. A través de la reproducción, los mejores segmentos perduran y su proporción crece de generación en generación. Al cabo de cierto número de iteraciones, la población estará constituida por buenas soluciones al problema de optimización. Esta herramienta se usa en las primeras fases de la minería de datos, para seleccionar las variables que luego se emplearán con otra técnica, como las redes de neuronas o la regresión logística.

- Discriminante: Método de clasificación de individuos en grupos que previamente se han establecido, y que permite encontrar la regla de clasificación de los elementos de estos grupos, y por tanto identificar cuáles son las variables que mejor definan la pertenencia al grupo.
- Árboles de decisión: son una técnica que prepara, sondea y explora los datos para sacar la información oculta en ellos, los modelos de árbol de decisión se utilizan comúnmente para desarrollar sistemas de clasificación que predicen o clasifican observaciones basándose en un conjunto de reglas. Clasifican casos en grupos o pronostican valores de una variable dependiente (criterio) basada en valores de variables independientes

(predictoras).

- **Redes neuronales:** constituyen una técnica inspirada en los trabajos de investigación, iniciados en 1930, que pretendían modelar computacionalmente el aprendizaje humano llevado a cabo a través de las neuronas en el cerebro. Las redes neuronales son una nueva forma de analizar la información con una diferencia fundamental con respecto a las técnicas tradicionales: son capaces de detectar, aprender patrones y características dentro de los datos. Se comportan de forma parecida a nuestro cerebro aprendiendo de la experiencia y el pasado y aplicando tal conocimiento a la resolución de problemas nuevos. Una vez adiestradas las redes neuronales pueden hacer previsiones, clasificaciones y segmentación. Las redes neuronales se construyen estructurando en una serie de niveles o capas compuesta por nodos o "neuronas". Poseen dos formas de aprendizaje derivadas del tipo de paradigma que usan: el supervisado y el no supervisado. Son métodos de proceso numérico en paralelo que tratan de modelizar el funcionamiento del cerebro. La red asigna pesos al azar a cada variable independiente y determina si existe algún patrón predictivo en los datos. Una vez que encuentra un patrón la red lo optimiza reforzando los pesos de las variables y comparando con los datos del grupo de validación. Luego prosigue el proceso y aprende de los resultados una y otra vez. Finalmente, se puede aplicar el modelo aprendido a cualquier nuevo conjunto de datos de entrada. Pueden manejar datos continuos y discretos, lineales y no-lineales simultáneamente. El único inconveniente que presentan es que no genera una ecuación o modelo que explique el comportamiento del sistema, siendo muy difícil determinar la influencia de cada variable en el comportamiento global del sistema.

Fernandez *et al.* (2015) cita también que, el **monitoreo reactivo** es aquel que detecta un evento perturbador cuando ha ocurrido. Con este objetivo, recopila la información observada sobre los cambios en la disponibilidad de los recursos

y las especificaciones de los pedidos, evaluando esos cambios para detectar eventos disruptivos.

2. **Notificación:** para Heusler *et al.* (2006) la función de notificación se refiere a informar a la entidad de toma de decisiones correspondiente en tiempo real al momento que se detecta un ED. La visibilidad realizada de esta manera permite a los gestores de procesos intervenir directamente y así reducir el riesgo de grandes perturbaciones en el desempeño de la CS. Este hecho refleja la naturaleza proactiva de GECS.

Una administración de excepciones en tiempo real del monitoreo se proporciona a través de mensajes de notificación. En estos mensajes de notificación, los responsables de la toma de decisiones son advertidos de forma proactiva de ED o desviaciones graves en procesos que requieren una reacción, particularmente una acción de contingencia y acciones correctivas.

El objetivo de la notificación es informar el estado del evento a los responsables y el propósito de la notificación en tiempo real es que los responsables puedan reaccionar ante el ED para su control, puesto que entre más pronto se reaccione el impacto o la trascendencia del ED será menor.

En la figura 2.3 se representa el incrementando del costo de la reparación de los daños de un ED a través del tiempo.

El primer paso en el proceso de notificación es generar alertas para un cierto orden. Los datos considerados en esta decisión abarcan los resultados del análisis de variables de entrada que por medio de reglas o prioridades se obtienen valores de salida, recurriendo así a herramientas como Lógica difusa. De forma similar, existen enfoques heurísticos del análisis de datos, este proceso de decisión es basado en las percepciones de la situación de un pedido y la situación actual de su entorno (Zimmermann, 2006).

3. **Simulación:** la simulación se refiere a la toma de decisiones apoyada a través de la evaluación de las consecuencias de los eventos disruptivos y el modelado

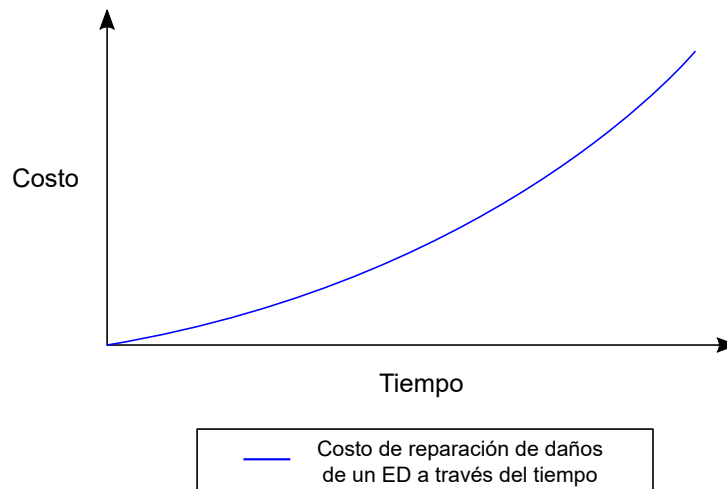


Figura 2.4: Gráfica de costo de un ED a través del tiempo

Fuente: elaboración propia

de acciones de gestión específicas que deben tomarse con base en los métodos de optimización y análisis de tendencias (Zimmermann, 2006).

La simulación, permite estimar tácticas de mejora sin perturbar el funcionamiento del sistema real; crear hipótesis sobre ciertos eventos y validarlas; analizar las interrupciones observando el estado de otros recursos, es decir, su impacto y entender la holística del sistema.

De acuerdo con la literatura consultada y revisada, los enfoques de modelado eventos discretos (DES *Discrete Event Simulation*) y dinámica de sistemas (SD *System Dynamics*) son los mayormente aplicados en un entorno de logística y CS, donde algunos afirman que ambos enfoques son muy diferentes en su aplicación y resultados, mientras que otros indican que la brecha entre los dos enfoques de modelado podría no ser tan evidente (Tako y Robinson, 2012). Lo cierto es que de seleccionar el método adecuado cuidadosamente dependerá obtener los resultados esperados.

Existen algunas diferencias técnicas entre los enfoques a considerarse en el contexto de CS para esta función en esta etapa del proyecto.

- DES modela sistemas como una red de colas y actividades donde los cambios de estado ocurren en puntos discretos, mientras que los modelos SD

representan un sistema como un conjunto de stocks y flujos donde los cambios de estado ocurren continuamente a lo largo del tiempo (Brailsford y Hilton, 2001). - En las entidades DES (objetos, personas) están representados individualmente. Los atributos específicos se asignan a cada entidad, que determina qué les sucede a lo largo de la simulación. En SD las entidades individuales no están específicamente modeladas, sino que se representan como una cantidad continua en una acción (Tako y Robinson, 2012). - Los modelos DES son generalmente estocásticos en la naturaleza, donde la aleatoriedad se genera mediante el uso de distribuciones estadísticas. Los modelos SD generalmente son deterministas y las variables usualmente representan valores promedio (Tako y Robinson, 2012). - En DES los cambios de estado ocurren en pasos de tiempo discretos irregulares, mientras que en SD los cambios de estado son continuos, aproximados por pequeños pasos discretos de igual longitud (Tako y Robinson, 2012).

4. **Control:** después de haber evaluados las posibles alternativas de solución soportada por la simulación, el dueño o responsable del proceso es responsable de implementar las acciones correctivas para disminuir o eliminar los efectos del ED.

Se considera en esta etapa para empresas de alto nivel tener predefinidas ciertas acciones a tomar por medio de las TICs de forma semi autónoma o autónoma, sin embargo, en la mayoría de las ocasiones se requiere de tomar acciones de forma manual para las CS en general.

5. **Medición** la forma más conveniente de cumplir con la última de las cinco funcionalidades de SCEM es aplicar un almacenamiento continuo y actualizado de datos de eventos con base en datos específicos del ED presentado, es decir, actualizar los KPI's si requiere y posiblemente nuevos medibles, así como tendencias y patrones (con respecto al lugar, la frecuencia y la probabilidad de incidentes críticos) con el fin de obtener indicaciones o los síntomas para una

eventualidad futura a mediano y largo plazo.

2.6.1 TEMAS DE ACTUALIDAD EN LA LOGÍSTICA COMO MOTOR PARA EL DESARROLLO DE LA GECS

Hoy en día, el desarrollo de un nuevo estilo de demanda en la logística ha sido influenciado contundentemente por la creciente presión sobre los costos logísticos y, al mismo tiempo, por las expectativas de calidad logística. Ante ello, las empresas afectadas suelen enfrentarse a esto mediante la explotación de iniciativas como: la reducción de costos; la reducción o eliminación de los inventarios y los *buffers*; la subcontratación de servicios logísticos hasta el sacrificio de la calidad de ciertos productos o servicios para hacer frente el precio de la competencia.

En este contexto, el concepto de GCS se ha vuelto cada vez más importante, ya que los enfoques clásicos de la gestión empresarial se centran especialmente en medidas de optimización **intra**organizacionales que solo mejoran el desempeño de una empresa en cuestión, mientras que la GCS rompe la perspectiva de mejora dividida e intenta reducir las ineficiencias con medidas **inter**organizacionales a lo largo de toda la cadena de valor, por medio de una integración del flujo de materiales, la mejora total en el desempeño y el éxito de todas las empresas involucradas.

Sin embargo, para el éxito de medidas interorganizacionales dependerá en gran medida del grado en que son todas y cada una de las empresas involucradas capaces de evitar perturbaciones o identificar las medidas que garanticen el buen desempeño de toda la CS.

Cabe mencionar que, el desempeño logístico de cada país es medido internacionalmente por el Grupo Banco Mundial, dándolo a conocer en un informe cada dos años.

Las economías emergentes que implementan iniciativas logísticas integrales me-

joran su desempeño, según se explica en el informe del Grupo Banco Mundial. Donde, en la última edición (2016) del índice de desempeño logístico, que forma parte del informe bienal titulado *Connecting to Compete 2016: Trade Logistics in the Global Economy*, se realiza una clasificación de 160 países a partir de su desempeño en materia de logística comercial, donde no es de extrañarse que, por tercera vez, Alemania es el país mejor posicionado, considerando que, iniciativas logísticas como la GECS, es en este país donde tiene sus orígenes. México por su parte, se encuentra en la posición número 54 (Ver Figura 2.4).

Puesto	Puntaje	Índice de desempeño
1. Alemania	4,23	100
2. Luxemburgo	4,22	99,8
3. Suecia	4,20	99,3
4. Holanda	4,19	98,8
5. Singapur	4,14	97,4
6. Bélgica	4,11	96,4
7. Austria	4,10	96
8. Reino Unido	4,07	95,2
9. Suecia	4,07	95,1
10. EUA	3,99	92,8
54. México	3,11	63,2

Figura 2.5: Índice de desempeño logístico

Fuente: Índice de desempeño logístico. Banco Mundial.

Los dominantes en temas de CS son los 10 países con el mejor desempeño, que, en las últimas 3 ediciones no han cambiado. Las economías de ingreso bajo son las peor clasificadas y suelen ser países sin litoral, pequeños estados insulares o países en conflicto. No obstante, como se menciona en el reporte, países como Ruanda y Uganda, ya no se encuentran en una marcada desventaja, ya que se han beneficiado de iniciativas coordinadas a nivel regional para mejorar los corredores comerciales, una muestra más, de que las cadenas de suministro integradas buscan la mejora de desempeño en conjunto.

El índice de desempeño logístico es un instrumento valioso para generar inversiones y, a menudo, constituye el punto de partida para el diálogo sobre políticas,

dicen los especialistas en comercio. En este sentido, es de suma importancia crear e implementar iniciativas que mejoren el índice de desempeño logístico de nuestro país.

Las economías líderes se apoyan en herramientas que les ayude a lograr niveles más altos de confiabilidad y visibilidad en las cadenas de suministro vinculadas.

Actualmente, las empresas no pueden confiar en los procesos tradicionales, que muchas veces están obsoletos, si quieren seguir siendo competitivas contra las empresas líderes y visionarias. Por esta razón, muchas empresas comienzan a cambiar su enfoque y a actualizar las cadenas de suministro con tecnología de vanguardia, reinventando sus CS con visibilidad en tiempo real gracias al Internet de las Cosas (IoT), así como al empleo de sensores y analíticas.

El cambio de modelos de negocio inclinados hacia el comercio electrónico, comprometen aún más el cumplimiento de órdenes en cantidad, tiempo y forma, por lo que la precisión en los inventarios es y será más crítica que nunca.

Para aminorar la vulnerabilidad en este aspecto, muchas empresas están presupuestando una serie de soluciones digitales que permiten obtener visibilidad del inventario automatizada y en tiempo real, a través de tecnologías IoT, como la identificación por radiofrecuencia (RFID). Con esta tecnología, el análisis de los datos permite aumentar de forma significativa los niveles de visibilidad a través de la CS.

En este contexto, la GECS puede complementar y gestionar las tecnologías de visibilidad para hacer de éstas, herramientas más valiosas de manera interorganizacional. Este enfoque se centra en la visibilidad de los procesos logísticos entre empresas, lo que debería permitir reconocer tempranamente las perturbaciones o eventos disruptivos del flujo material, de los bienes y de la información, así poder tomar medidas de control de forma proactiva antes de poner en peligro el cumplimiento del plan.

2.6.2 PLANEACIÓN DE LA CS

Como cualquier actividad, un punto clave para lograr un buen desempeño y mejorar la rentabilidad, es en definitiva la planeación. En la logística y CS se requiere cubrir los siguientes niveles de planeación:

- Planeación de nivel estratégico
- Planeación de nivel táctico
- Planeación de nivel operativo

De acuerdo con Chopra y Meindl (2008), cierto tipo de decisiones y actividades, se llevan a cabo en cada uno de los niveles de planeación y bajo un horizonte de tiempo dado para cada uno (Ver figura 2.5).



Figura 2.6: Planeación de la logística y cadena de suministro

Fuente: elaboración propia basado en Chopra y Meindl (2008)

- **Planeación de nivel estratégico:** decisiones estratégicas como subcontratar o realizar las funciones de la CS internamente, la ubicación, las capacidades de producción e instalaciones de almacenaje, los productos que se fabricarán, los medios de transporte y el tipo de sistema de información.

- **Planeación de nivel táctico:** tomar decisiones respecto a cuáles mercados serán abastecidos y desde qué ubicaciones, definir un grupo de políticas a seguir que gobiernan las operaciones a mediano plazo.
- **Planeación de nivel operativo:** establecer fechas de cumplimiento de pedidos, generar listas de surtido en el almacén, asignar modo de transporte y envío, establecer los itinerarios de entrega de los camiones y colocar órdenes de reabastecimiento.

Las empresas que trabajan bajo un enfoque de CS participan en procesos de planificación colaborativa, estas crean y mantienen calendarios de producción y distribución sincronizados con los horarios de otros miembros de la cadena de suministro. Sin embargo, durante la ejecución, normalmente ocurren eventos disruptivos que afectan a los calendarios, los horarios y su sincronización previamente planificada.

De ahí que, como cita Wieser y Lauterbach (2001), el objetivo de la GECS es crear un puente entre la planificación de la cadena de suministro y la ejecución de la cadena de suministro.

A pesar de que la GCS se ha centrado durante mucho tiempo en la optimización de la planificación de: el aprovisionamiento, la producción y la distribución, se descuidan los problemas de cumplimiento, es decir, aquellos que afectan a los calendarios y su sincronización (Stadtler y Kilger, 2002), es decir, en el nivel operativo, ya que en la ejecución es común tener desvíos o alteraciones a algunos procesos o actividades de los planes originales debido a los ED.

Para aumentar la capacidad de respuesta de la CS y para minimizar el impacto de estas interrupciones, los sistemas de programación generan horarios que prescriben algún tipo de reserva de recursos que podría absorber la variabilidad durante la ejecución como reservas administrativas, como por ejemplo: reservas de material, de capacidad, de recursos y de tiempo. Sin embargo, estas holguras son costosas, aunque, evita la necesidad de una nueva tarea de programación, que igualmente

puede ser costosa y consumir tiempo, ya que todas las empresas que participan en la CS afectada deben acordar nuevos horarios sincronizados.

Como los horarios se ven afectados por ED, requieren un proceso de control de ejecución capaz de gestionar la interrupción. Los sistemas actuales implementados para la gestión de la cadena de suministro como los ERP (*Enterprise Resource Planning*) carecen de enfoques sistemáticos para la gestión de interrupciones. En la práctica, el proceso de decisión que se lleva a cabo dada la disrupción es poco estructurado, los gerentes rara vez son apoyados por metodologías sistemáticas para hacer frente al problema causado por la interrupción, y cuando lo hacen, la solución suele ser una tarea de reprogramación completa, generando altos costos y en general, una toma de decisiones poco acertada al verse condicionada ésta por el tiempo, debido a que se alteran las habilidades cognitivas de casi cualquier persona al tener el tiempo como restrictor.

Los sistemas de información que soportan procesos de control de ejecución capaces de gestionar eventos disruptivos o interrupciones se han denominado Sistemas de Gestión de Eventos de Cadena de Suministro (Zimmermann, 2006).

La GECS como menciona Ostlick (2016), funciona como una torre de control de aeronaves, donde las empresas pueden sortear con eficacia problemas mayores a partir de un evento por medio de un monitoreo y control, así asegurar estrategias de producción rentables. Al igual que trabajar en una torre de control, los responsables de CS deben considerar y coordinar múltiples datos y circunstancias para asegurar el buen desempeño, basándose en información certera y en tiempo real.

Los sistemas SCEM deben proporcionar funcionalidad para: capturar y predecir eventos disruptivos que podrían afectar la ejecución del plan o programa; comprobar si los horarios siguen siendo factibles después de la ocurrencia de un evento disruptivo; y la búsqueda de soluciones para reparar los horarios afectados por un ED (Guarnaschelli *et al.*, 2013).

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA

Después de la revisión de literatura, en específico de los trabajos previos en cuanto a los diferentes métodos para abordar las disrupciones en la CS del Capítulo 2, se identificó una tendencia hacia el uso de métodos como los modelos matemáticos y simulación lo que nos da la pauta al uso de GECS.

En este capítulo ahora se presenta la descripción de la metodología propuesta, la cual integra las 5 funciones básicas de la GECS, con el objetivo de “cerrar la brecha entre la planificación a mediano plazo (planeación táctica de la CS) y la ejecución operativa de estos planes conforme a la planificación a corto plazo (planeación operativa de la CS)” Wieser y Lauterbach (2001).

Primero, se realiza un esquema de la metodología donde se muestra gráficamente por medio de un diagrama de flujo cómo se lleva a cabo y algunas consideraciones previas para su implementación.

Finalmente, a fin de comprender cómo se ejecuta la herramienta, en la sección de metodología descriptiva de GECS, se realiza una descripción detallada de cada función conforme a la revisión de literatura de GECS en sí.

3.1 ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA

En la figura 3.1 se tiene un diagrama de la metodología propuesta a realizar en el presente trabajo, tomando en cuenta las consideraciones previas y las 5 funciones básicas de la GECS tomadas de la revisión de literatura, así como de casos.

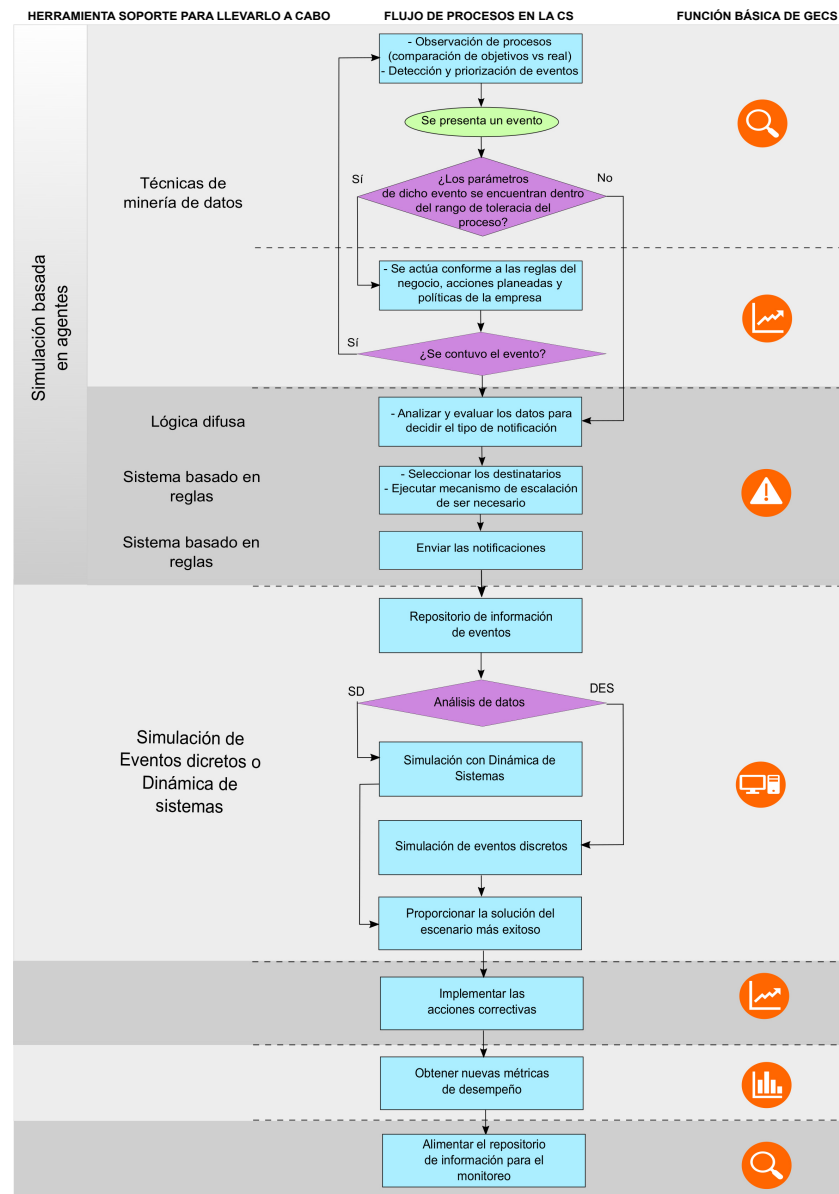


Figura 3.1: Diagrama de metodología

Fuente: Elaboración propia

3.2 CONSIDERACIONES PREVIAS A LA GECS

La GECS es una herramienta de aplicación táctica-operacional, que se despliega de la mano y en conjunto con otros sistemas o herramientas de aplicación en la CS vinculados a la GECS debido a la logística, estos sistemas son de tipo transaccional, utilizados en las empresas, como, por ejemplo: sistemas de rastreabilidad en la distribución y transporte, gestión de pedidos, gestión de inventarios, gestión de producción y gestión de aprovisionamiento. Dentro de estos, GECS se utiliza para monitorear e informar sobre los eventos de operaciones de la CS, por ejemplo: un sistema de seguimiento y rastreo de pedidos, el nivel de stock, estatus de ventanas de recibo y embarque, etc., en cuyo caso es necesario que datos y métricas para los procesos pertinentes deben estar ya definidos previamente.

La vinculación de la GECS con dichos sistemas se centra en la visibilidad de los procesos logísticos entre empresas, ya que la visibilidad para Nissen (2002) debería permitir reconocer tempranamente las perturbaciones del flujo de material, de los bienes y de la información, para tomar medidas de control de forma proactiva antes de poner en peligro el cumplimiento del plan.

Ante el surgimiento de un ED existen dos vertientes a seguir:

Primer vertiente analizar y evaluar los parámetros del ED conforme a un espectro de procedimientos estándar, también llamados “reglas del negocio”. Estas reglas se dan por medio de estándares, metas y políticas de las empresas, que por lo regular se ponen en práctica como *Key Performance Indicator* KPI o indicador clave de desempeño.

La selección de eventos como tal se basa en una comparación entre las secuencias de proceso planificadas y las realmente ejecutadas. Dado que las desviaciones menores a menudo no implican ningún requerimiento de control, los rangos de tolerancia deben fijarse, además de los KPIs planificados.

Los KPIs planificados son métricas que se desprenden de los procesos logísticos como se puede apreciar en la figura 3.2. Estas mismas métricas se replican hacia proveedores y clientes.

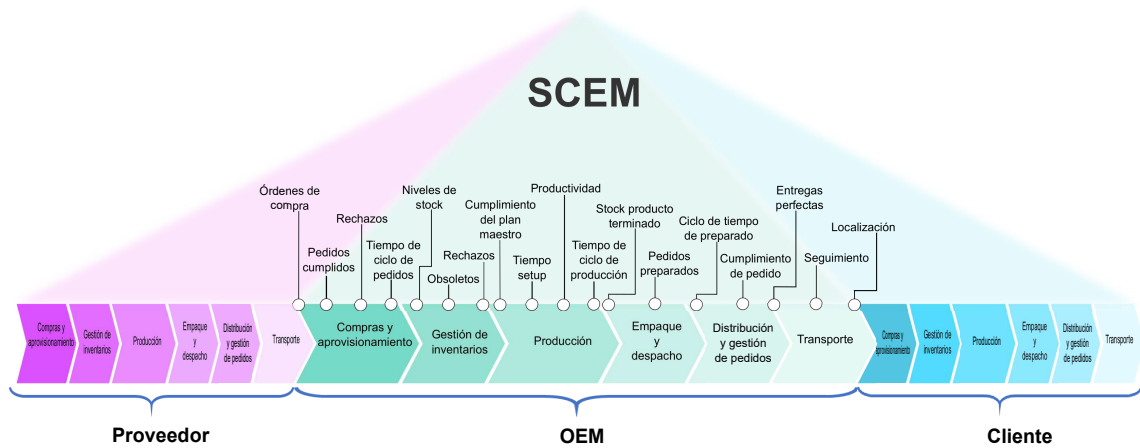


Figura 3.2: KPIs planificados

Fuente: elaboración propia

Segunda vertiente sólo cuando los valores reales están por encima o por debajo del rango de tolerancia hay una necesidad de acción. El mensaje de estado del evento se convierte entonces en un ED, que se envía al responsable de la toma de decisiones respectivo (Heusler *et al.*, 2006) ver figura 3.3.

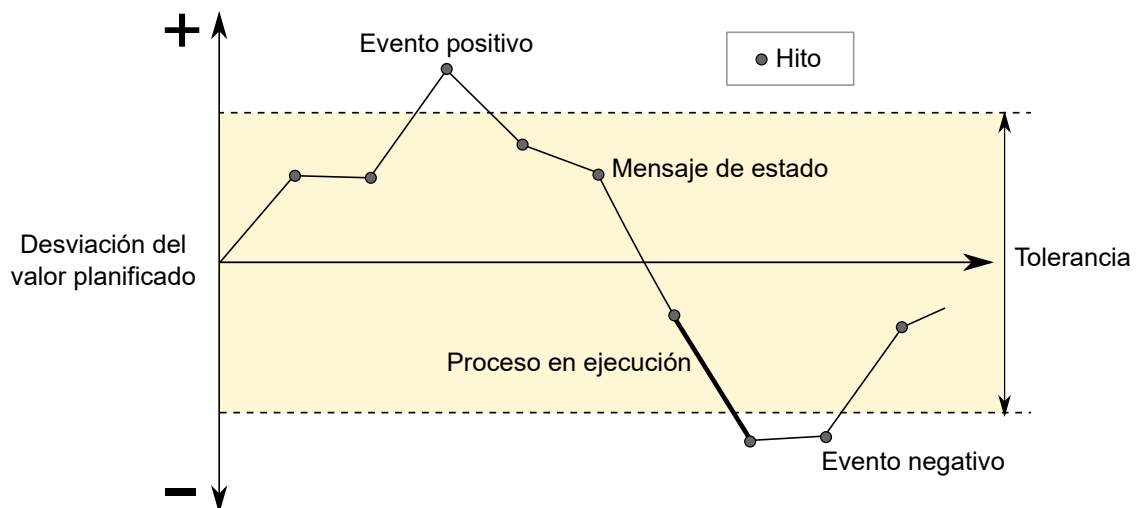


Figura 3.3: Rangos de tolerancia para la selección de eventos

Fuente: Heusler *et al.* (2006)

En los eventos de esta segunda vertiente es donde focalizaremos el desarrollo

de la GECS por medio de las 5 funciones de la GECS.

3.3 METODOLOGÍA DESCRIPTIVA DE GECS

3.3.1 MONITOREO

La ejecución exitosa de los procesos logísticos en la CS está condicionada por diferentes tipos de eventos disruptivos, por lo cual, es de suma importancia la capacidad de monitorear para detectar, analizar e inclusive predecir una disrupción.

Existen dos tipos de monitoreo, el monitoreo predictivo y el monitoreo reactivo, los cuales se encargan de la observación de procesos y la evaluación de eventos.

Debido a que un ED con RE es difícil predecir si no tenemos datos que alimenten nuestras bases de información, partiremos del monitoreo reactivo para posteriormente realizar las siguientes 4 funciones, para que en la función de medición podamos alimentar el repositorio de información y entonces si contar con la información suficiente para un monitoreo predictivo.

El monitoreo en las redes de suministro se inicia en una variedad de situaciones. Se proponen cuatro categorías de situaciones relevantes descritas por Zimmermann (2006):

- Activador de alerta: se recibe una alerta, que informa de un ED, entonces la información de alerta es generada y enviada por el miembro de la cadena que lo detecta donde se identifica un DE.
- Solicitud de estado: se realiza una solicitud explícita de información sobre el estado de una orden. Esta solicitud puede ser generada por un actor externo (principalmente clientes) o un solicitante interno dentro de la empresa, de

ahí que se observa un proceso y se evalúa cuando este sale de acuerdo a lo planificado.

- Disparador aleatorio: se realiza una selección aleatoria de pedidos. Estos son luego monitoreados, por ejemplo, para facilitar el control estadístico de calidad de los procesos de cumplimiento de pedidos.
- Disparador probabilístico: el conocimiento de un cierto orden está disponible, se cuenta con información suficiente para predecir una alta probabilidad de que este orden se vea afectado por un adisrupción. Este conocimiento se usa para activar el monitoreo de la orden y notificar.

De estas 4 categorías se puede definir entonces que el «activador de alerta» corresponde a un **monitoreo reactivo**, mientras que la «solicitud de estado» y el «disparador aleatorio» es un tanto proactivo sin dejar de ser reactivo y finalmente que el «disparador probabilístico» es proactivo puro o también llamado **monitoreo predictivo**.

¿Qué otros aspectos se pueden monitorear?, se pueden monitorear KPI's críticos y síntomas.

KPIs críticos De acuerdo con la revisión de literatura, los KPI's críticos para el monitoreo serán seleccionados conforme a que éstos sean métricas importantes en el desempeño de la CS y cumplimiento de pedidos. En este sentido, los KPI's dependerán de ciertas características como:

- el impacto económico.
- particularidad.
- disponibilidad (información y tiempo).
- fallas presentadas.
- reclamos del cliente.

- acuerdo cliente-proveedor.

Síntomas Se refiere a indicios o señales de que algo está ocurriendo o va a ocurrir como:

- tendencias.
- patrones o experiencias.
- cambio de clima.

De acuerdo con Zimmermann (2006), con base a lo anteriormente mencionado y de acuerdo con la literatura revisada, varias técnicas de minería de datos son sugeridas para realizar el proceso de monitoreo predictivo, sobre todo para la categoría «disparador probabilístico» para posteriormente obtener la notificación por medio de la creación de un agente de monitoreo *wrapper* o también llamado agente interfaz.

Si bien las redes Bayesianas son utilizadas para la toma de decisiones como parte de las técnicas de minería de datos, existen los conceptos de **utilidad** y **decisión**, estos no están modelados explícitamente en una red Bayesiana normal y cuando se incorpora la utilidad y la decisión es llamada red Bayesiana extendida.

De acuerdo con la Teoría de utilidad incorporada a las redes Bayesianas, esta proporciona un marco para la toma de decisiones llamado **diagramas de influencia** o **redes de decisión** (Jensen, 1996). Estos diagramas de influencia extienden las redes Bayesianas con dos tipos de nodo nuevos, el primero llamado de **utilidad** (o valor) y el segundo llamado de **decisión** para modelar explícitamente la toma de decisiones. Y en este entorno, el nodo de forma circular u oval de las redes Bayesianas generales será denominado **nodo de azar** (ver Figura 3.4). Los valores de los nodos de decisión contienen las acciones que puede tomar la persona encargada de la toma de decisiones. El nodo de utilidad representa precisamente la utilidad y cuantifica las preferencias (impacto económico) de las decisiones (Rodríguez y Dolado, 2007).

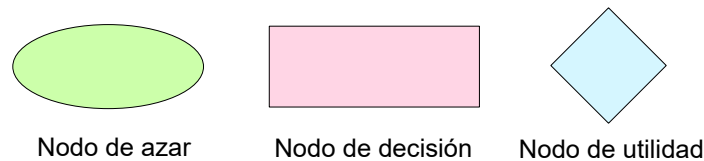


Figura 3.4: Tipos de nodos en un diagrama de influencia

Fuente: basado en Rodríguez y Dolado (2007)

A continuación, cito un ejemplo tomado de Rodríguez y Dolado (2007) en el cual se plantea un escenario en la ingeniería del software donde el gestor del proyecto debe tomar la decisión de si lleva a cabo inspecciones del software en cuestión, donde se evaluará el diseño y código del mismo, o no. Teniendo como referencia que, las inspecciones de código reducen el número de defectos además de que corregir un error en un sistema ya en producción es mucho más caro que lo que sería durante el testeó; sin embargo, las inspecciones son costosas debido al recurso de tiempo invertidas por el personal. Por tanto, puede ser beneficioso recabar información adicional antes de decidirse por la realización de inspecciones. En este caso la función de utilidad aunada al costo de realizar inspecciones junto con el hecho de que, si se entrega al cliente un producto con alto número de errores, se perdería dinero en el proyecto. Entonces, a menor número de errores, mayor beneficio proporcionará el proyecto.

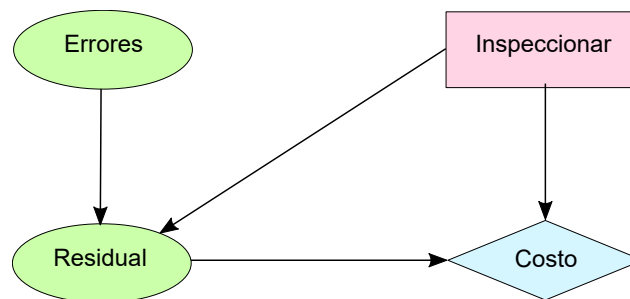


Figura 3.5: Diagrama de influencia del ejemplo

Fuente: basado en Rodríguez y Dolado (2007)

En la figura 3.5 se presenta el diagrama de influencia del ejemplo planteado anteriormente. En este se representa el nodo de decisión “Inspeccionar” y el nodo de utilidad “Costo” asociado con el nodo “Residual” y otro de “Errores”. Por medio de redes Bayesianas incorporando la Teoría de utilidad se evalúan dos escenarios.

En un posible escenario donde se sabe que se han introducido un gran número de errores durante el desarrollo, el proyecto todavía puede ser rentable si se realizan inspecciones, en caso contrario, generará pérdidas. Por otro lado, si se sabe que el número de errores introducidos durante el desarrollo es bajo, el proyecto generará beneficios se hagan o no inspecciones, pero generará mayor beneficio si no se llevan a cabo las inspecciones.

Otra forma de realizar el monitoreo predictivo es por medio de otra técnica o algoritmo de minería de datos, esta es llamada árboles de decisión, que pueden seleccionar automáticamente valores de atributos para la inclusión en perfiles críticos y calificar la criticidad de estos perfiles. Por lo tanto, se realiza una clasificación de las órdenes normales y las críticas. La tabla 3.1 supone que dicho algoritmo de minería de datos ha desarrollado dos conjuntos de atributos de orden S_1 y S_2 . Una calificación de criticidad de sus pedidos asociados se basa en la desviación promedio de las fechas de cumplimiento reales de las fechas de cumplimiento planificadas de todas las órdenes que coinciden con un determinado conjunto. Según este criterio, se clasifica a S_1 como crítico o potencialmente un ED debido a su retraso de 5.3 días.

Conjunto S_i de atributos de orden seleccionados por el algoritmo de minería de datos	Desviación promedio de la fecha de cumplimiento planeada	Perfil
$S_1 = ((\text{Tipo de producto} = \text{Cualquiera}) \text{ Y } (\text{Tipo de despacho} = \text{Entregas urgentes}) \text{ Y } (\text{Destino/Origen} = \text{Letonia}))$	+5.3 días	Crítico o potencialmente un ED
$S_2 = ((\text{Tipo de producto} = \text{Cualquiera}) \text{ Y } (\text{Tipo de despacho} = \text{Cualquiera}) \text{ Y } (\text{Destino/Origen} = \text{EU}))$	+0.1 días	Normal

Tabla 3.1: Clasificación de perfiles

Fuente: basado en Zimmermann (2006)

Una vez que se tiene definido el perfil del atributo para la orden o el proceso, se realiza una prueba adicional para evaluar la capacidad para clasificar de manera correcta los perfiles. Una forma de conocer esta capacidad es por medio de la validación de resultados de falsos positivos y falsos negativos. Finalmente se obtendrá

una predicción acerca de cuando un perfil epresenta un ED.

Por otro lado, el agente interfaz proporciona la integración de la información entre las TIC's utilizadas por los miembros de la CS. La técnica aplicada por este agente es “envolver” el código de la TIC por medio de la cual se obtiene la información de estado con el agente interfaz, es decir, este agente es el facilitador para interpretar los mensajes de la TIC y viceversa con el objetivo de proporcionar una comunicación comprensible para ambos lados (Davidsson y Wernstedt, 2002).

3.3.2 NOTIFICACIÓN

Una vez que se ha detectado un ED, la notificación inmediata a los responsables es imprescindible, para la ejecución de acciones inmediatas y poder controlar el problema. Esta se realiza gracias a la información proporcionada por el agente de monitoreo que detecta el ED y a través de otro **agente de alerta** que decide el tipo de alerta, valga de redundancia, así como los destinatarios para posteriormente comunicarla por medio de otro **agente de comunicación**, este último es responsable para la comunicación efectiva entre los agentes de los miembros de la CS. Dicho de otra manera, este facilita el flujo de información entre los miembros (Giannakis y Louis, 2011).

Soportando que esta etapa debe proporcionar además información creadora de valor como el nivel de criticidad del ED, entonces el agente de alerta elige los destinatarios en función de la situación actual e incluso de la situación futura.

De acuerdo con lo anterior, el proceso de notificación basado en Zimmermann (2006) consta de los siguientes pasos: decidir el tipo de alerta necesaria, identificar los destinatarios y enviar la notificación, que enseguida se describirán.

Decidir si el tipo de alerta necesaria, la definición de estos tipos se basa en una definición estándar para mensajes de notificación de eventos en redes informáticas

(Lonvick, 2001), una adaptación de estas definiciones realiza Zimmermann (2006) en el entorno de las redes de suministro en la 3.2.

Crítico	Acciones que deben ser tomadas inmediatamente
Falla	Condición crítica de cumplimiento con impacto alto
Alerta	Problemas de cumplimiento significantes con impacto medio
Advertencia	Problemas de cumplimiento leves con bajo impacto
Aviso	Cumplimiento normal sin impacto negativo

Tabla 3.2: Categorías de notificación en la CS

Fuente: basado en Zimmermann (2006)

La decisión de alerta está basada en un análisis de lógica difusa que puede verse representada en la figura 3.12. Cabe mencionar que cada empresa puede decidir qué resultados analíticos o **variables de entrada** de los datos del monitoreo y qué tipos de datos adicionales integrarán la decisión de alerta, dependiendo de sus procesos y las **variables de salida** que se desean obtener para determinar la «prioridad del ED» y la «severidad del ED».

Algunas definiciones importantes que debemos tomar en cuenta para esta función de notificación son las siguientes:

Lógica difusa: es una metodología que puede verse como una extensión de los sistemas lógicos clásicos, ya que proporciona un marco eficaz para abordar el problema de la representación del conocimiento en un entorno de incertidumbre, vaguedad e imprecisión. La representación del significado en la lógica difusa se basa en la semántica del puntaje de prueba. En esta semántica, una proposición se interpreta como un sistema de restricciones elásticas, y el razonamiento se ve como una propagación de restricciones (Yager y Zadeh, 2012). Esta metodología fue concebida por Lotfi A. Zadeh, un profesor quien al estar disconforme con los conjuntos clásicos que sólo permiten dos opciones, la pertenencia o no de un elemento a un , fue entonces que propuso la forma de procesar la información permitiendo las pertenencias parciales de un elemento a unos conjuntos a lo que denominó **conjuntos difusos**. En la teoría de conjuntos, un elemento pertenece o no a un conjunto, en cambio, en un

conjunto difuso la frontera no está precisamente definida y el grado de pertenencia es subjetivo y dependiente del dominio (DNegri y De Vito, 2006). Puede decirse también que ésta es una lógica multivaluada porque permite valores intermedios para poder definir evaluaciones entre sí/no, verdadera/falso, negro/blanco, caliente/frío, pequeño/grande, muchos/pocos, alto/bajo, cerca/lejos, etc.

Conjunto difuso: puede definirse como una clase en la que hay una progresión gradual desde la pertenencia al conjunto hasta la no pertenencia; dicho de otra forma, en la que un elemento puede tener un grado de pertenencia definido entre la pertenencia total (valor uno) y la no pertenencia (valor cero). Un conjunto difuso puede definirse matemáticamente de la siguiente forma:

$$A = \{x, \mu_A(x) | x \in U\} \quad (3.1)$$

Donde $\mu_A : x \rightarrow [0, 1]$ es la función de pertenencia, $\mu_A(x)$ es el grado de pertenencia de la variable x y U es el dominio de la aplicación, llamado en términos «difusos» el Universo en Discurso. Como se mencionó anteriormente, entre más cerca esté A del valor 1, mayor será la pertenencia del objeto x al conjunto A (Gonzalez, 2014).

Grado de pertenencia: la idea básica de un conjunto difuso es que un elemento forma parte de un conjunto con un determinado grado de pertenencia, este se refiere al porcentaje de pertenencia a un conjunto difuso, expresa precisamente, el grado de algo que ocurre o a alguna condición (Gonzalez, 2014).

Función de pertenencia: se dice que, un conjunto difuso puede también ser gráficamente representado como una función, especialmente cuando el universo en discurso U (o dominio) es continuo (Gonzalez, 2014), también llamada función de membresía.

Variable lingüística: es aquella cuyos valores son palabras o sentencias en un lenguaje natural o artificial y sirve para representar cualquier elemento que sea

demasiado complejo o para el cual no tengamos una definición exacta; esto quiere decir que no lo podemos describir en términos numéricos (Zadeh, 1975).

Valor lingüístico: es el conjunto en términos de x , también llamado etiqueta lingüística (Zadeh, 1975).

En la siguiente figura 3.6 podemos ver representados los conjuntos difusos de la estatura de una población de personas, éste es un ejemplo claro de la representación de lo que es lógica difusa.

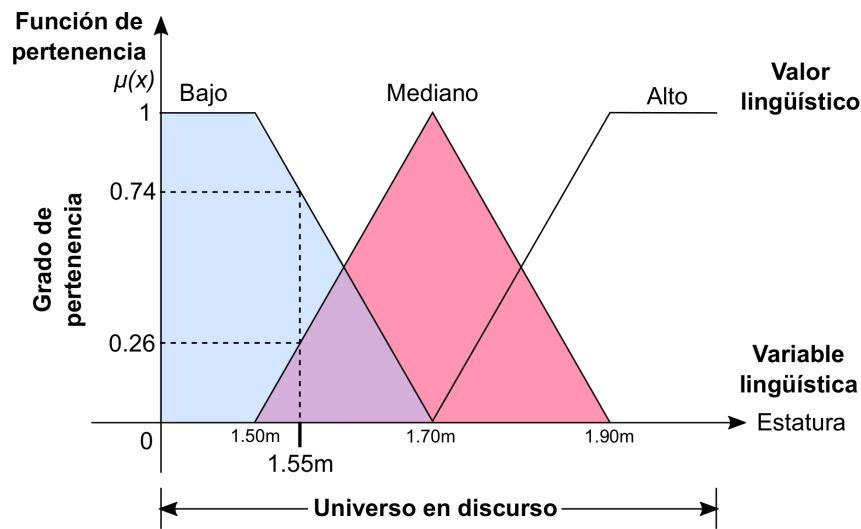


Figura 3.6: Conjuntos difusos de la estatura de una población

Fuente: Elaboración propia

En esta figura se pueden apreciar 3 conjuntos difusos de la estatura de una población, «bajos», «medianos» y «altos» como valor lingüístico, y la variable lingüística de «estatura». En esta imagen se ejemplifica a qué conjunto difuso pertenece una persona con una estatura de 1.55m, dicha persona tiene un grado de pertenencia igual a 0.74 para el conjunto difuso «bajo», pero también tiene un grado de pertenencia igual a 0.26 para el conjunto difuso «mediano», recordemos que los conjuntos difusos no tienen fronteras delimitadas, es por ello que una persona con estatura de 1.55m puede tener una pertenencia parcial para ambos conjuntos difusos pero con diferente grado de pertenencia.

Como se describió anteriormente la teoría de conjuntos difusos contempla la

pertenencia parcial de un elemento a un conjunto difuso, el grado de pertenencia se define mediante una función característica asociada al conjunto difuso, llamada función de membresía o pertenencia. El tipo de la función de pertenencia utilizada, depende del criterio aplicado en la resolución de cada problema y varía en la experiencia de los usuarios. Existen diferentes tipos de funciones de pertenencia, entre las que se encuentran: la triangular, trapezoidal, gama, gaussiana, entre otras; sin embargo por su facilidad matemática y operacional, así como su uso en clasificadores (como el nivel de criticidad de la notificación en cuestión) las más utilizadas son: la triangular y la trapezoidal (Martínez del Brío y Sanz Molin, 2007), estas son representadas en la figura 3.7.

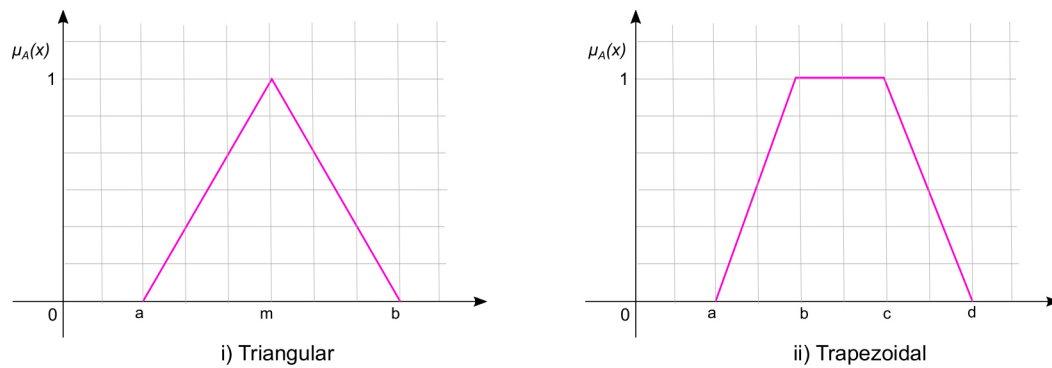


Figura 3.7: Funciones de pertenencia triangular y trapezoidal

Fuente: Elaboración propia basada en Martínez del Brío y Sanz Molin (2007)

Función de pertenencia triangular: esta es utilizada con frecuencia y a menudo sin justificación alguna, con aplicaciones de conjuntos difusos, particularmente, controladores difusos, modelos difusos y esquemas de clasificación. Quizás, esto se debe a la simplicidad de esta en su procesamiento y la disponibilidad limitada de la información pertinente sobre los términos lingüísticos. A pesar de ello, se debe especificar la semántica de un cierto término lingüístico, entonces la forma más simple de la función de pertenencia que se podría pensar sería proporcionar un valor modal típico del término considerado los límites inferior y superior o fronteras del conjunto difuso. La distribución de los grados de pertenencia entre estos límites es entonces lineal. Al igual que en los conjuntos difusos se establece en $1/2$ cuando un punto en x se caracteriza por un grado de pertenencia completo o igual a 1, con una exclusión

de pertenencia completa al resto (Pedrycz, 1994). Existen otras razones adicionales, pero mucho más fundamentales, que legitiman el uso de la función de pertenencia triangular en controladores difusos, modelos difusos y en los clasificadores. Un estudio realizado por Pedrycz (1994), declara y demuestra que bajo ciertas suposiciones débiles la función de pertenencia triangular cumple específica e inmediatamente con los criterios de optimización relevantes.

Esta función está definida por un límite inferior a , un límite superior b , y un valor m tal que $a < m < b$, esto se puede apreciar en la figura 3.8.

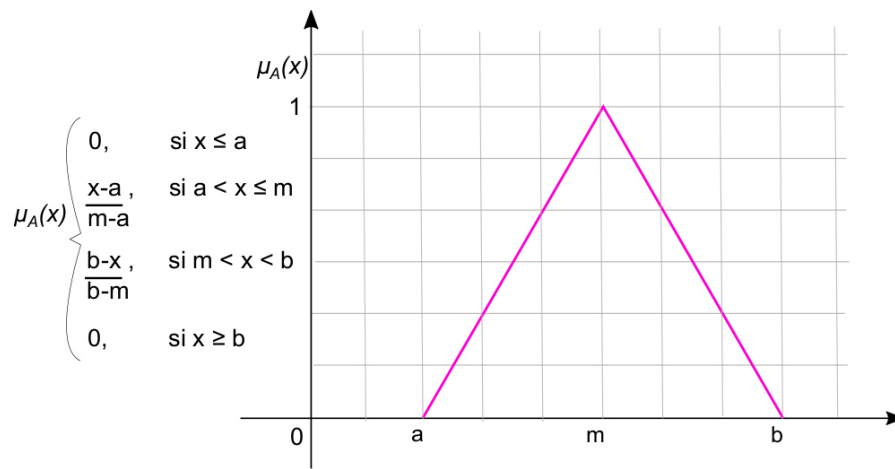


Figura 3.8: Función de pertenencia triangular y sus límites

Fuente: Elaboración propia basada en Martínez del Brío y Sanz Molin (2007)

En esta imagen también podemos apreciar que en el valor de $m = 1/2$ el grado de pertenencia es total, es decir igual a 1.

Función de pertenencia trapezoidal: esta también es una función de pertenencia comúnmente utilizada, al igual que la función de pertenencia triangular, posee una simplicidad de procesamiento y es utilizada a la disponibilidad limitada de información pertinente sobre los términos lingüísticos, solo que en ésta existen varios valores o puntos tales que el grado de pertenencia es igual a 1, los valores entre el un límite de soporte inferior y uno superior.

Esta función está definida por un límite inferior a , un límite superior d , un límite de soporte inferior b , y un límite de soporte superior c , tal que $a < b < c < d$,

esto es representado en la figura 3.9.

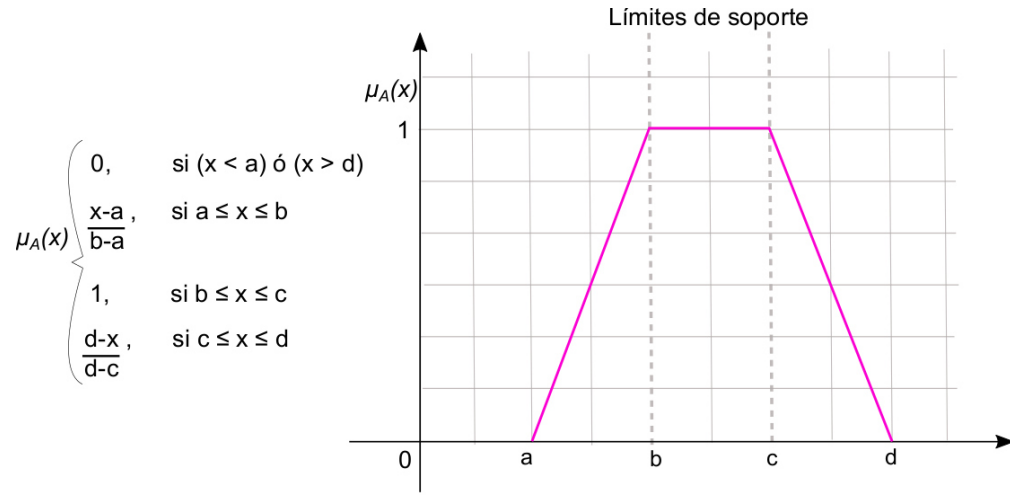


Figura 3.9: Función de pertenencia trapezoidal y sus límites

Fuente: Elaboración propia basada en Martínez del Brío y Sanz Molin (2007)

Para esta función de pertenencia existen dos casos particulares, las denominadas funciones R y L:

- La función de pertenencia trapezoidal R: con parámetros $a = b = -\infty$.

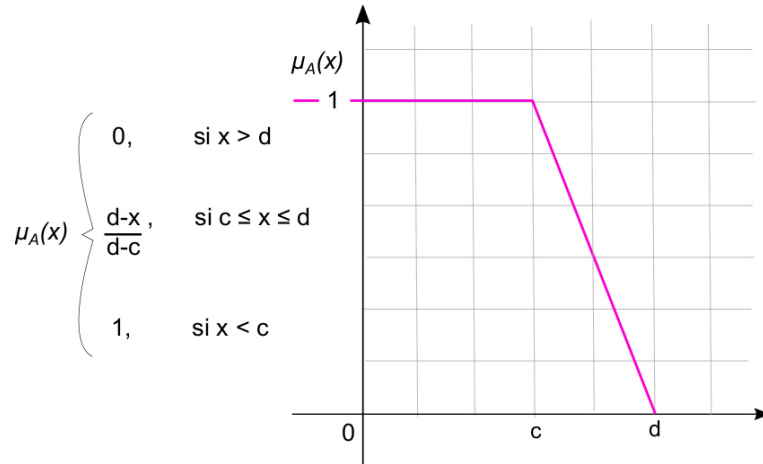


Figura 3.10: Función de pertenencia trapezoidal R

Fuente: Elaboración propia basada

- La función de pertenencia trapezoidal L: con parámetros $c = d = +\infty$.

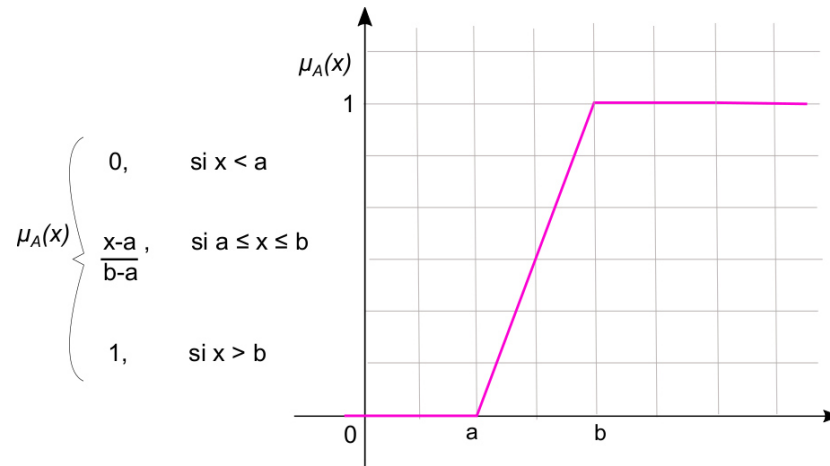


Figura 3.11: Función de pertenencia trapezoidal L

Fuente: Elaboración propia basada

Estas funciones de pertenencia trapezoidal R y L son ejemplo de funciones cuyos valores iniciales proceden de infinito, como el caso de las estaturas de la figura 3.6 donde a partir de 1.50m se considera una persona baja, no importando que sea 1m, 0.50m o cualquiera siempre y cuando sea menor de 1.50m. Por el otro lado a una persona por encima de 1.90m se le considera alta no importando que sea 1.95m, 2m o más. Esto cambiaría si se estableciera un conjunto adicional como «muy bajo» o «muy alto» y se estableciera un tope o límite si se conociera la estatura de la persona más alta y la persona más baja. Esta es una ventaja de la lógica difusa, que los usuarios establecen dichos límites dependiendo la disponibilidad de la información.

Ahora, por medio de lógica difusa se determina la prioridad del ED (Muy baja, Baja, Media, Alta o Muy alta) a partir de las variables de entrada que se definen de acuerdo al proceso afectado en función del tiempo; de igual manera la severidad (Muy baja, Baja, Media, Alta o Muy alta) a partir de las variables de entrada que se definen de acuerdo al proceso afectado en función de costos. La cantidad de funciones de pertenencia depende del usuario, aunque, entre mayor sea el número de funciones tendremos mayor resolución, pero también mayor complejidad computacional, por lo que se recomienda un número impar, de 3 a 7. Para este paso, la determinación de variables de entrada, se sugiere además, de acuerdo a literatura, estimar al menos dos variables de entrada para determinar la prioridad y otras dos al menos para estimar

la severidad.

Prioridad: según la Real Academia Española (2017) es «la precedencia temporal de una cosa con respecto a otra», esto quiere decir que este concepto está en función del tiempo. Para Zimmermann (2006) las medidas prioritarias en una CS pueden incluir la clasificación de los clientes en diferentes grupos (por ejemplo, clientes A, B, C), fallas de cumplimiento (por ejemplo, retrasos, problemas de calidad del producto) definidos en un contrato, en resumidas cuentas la importancia del cliente y la prioridad de la orden; donde a mayor retraso, mayor es el déficit de calidad y eventualmente afectará más a los procesos subsecuentes. Las fuentes importantes para la definición de la prioridad de una orden pueden ser los departamentos de marketing y ventas que tienen datos y estrategias para definir prioridades de orden. Se supone además, que cada empresa determina sus propias medidas de prioridad que deben considerarse.

Severidad: según la Real Academia Española (2017) es «riguroso, áspero, duro en el trato o el castigo. Exacto y rígido en la observancia de una ley, un precepto o una regla.», esto quiere decir que este concepto está en función de un castigo o penalidad como lo puede ser un costo adicional por remediación de daño. Para Zimmermann (2006) severidad es la gravedad métricamente medible de un evento perturbador o ED, donde los costos tenderán a crecer tanto con una gravedad creciente del ED; es también la ocurrencia o frecuencia del ED; un parámetro de costo también refleja el impacto de la gravedad de un ED y, la intensidad de propagación debido a la severidad del DE. Para este apartado también, cada empresa determina sus propias medidas de severidad que deben considerarse.

Selección de variables de entrada: Dada la complejidad de los procesos en una CS, se requiere de indicadores de medición previamente establecidos que contemplen una rápida conexión con la gestión hacia el desempeño operativo de la organización, que nos servirán como variables de entrada para obtener la prioridad y la severidad de un ED.

		Severidad al ED					Prioridad al ED
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Muy baja							
Baja							
Media							
Alta							
Muy alta							

Aviso

Advertencia

Alerta

Falla

Crítico

Figura 3.12: Conjunto de reglas para el índice de alerta con lógica difusa

Fuente: basado en Zimmermann (2006)

Los indicadores de desempeño se encargan de medir el comportamiento de los procesos en diferentes áreas de la logística y la CS como: abastecimiento, producción, servicio al cliente, gestión de inventarios, gestión de almacenes, transporte, distribución entre otros. Sin embargo, la gran cantidad de indicadores a diferentes niveles y procesos dificulta su medición, seguimiento y alineación para alcanzar los objetivos en la CS y sus procesos logísticos involucrados, más aún, para determinar cuáles son aquellos que nos servirían como variables de entrada a nuestro modelo de lógica difusa.

Nos basaremos en el modelo SCOR, definido por el Council of Supply Chain Management Professionals (2013) como un modelo estándar basado en una estructura que permite integrar procesos logísticos, cimentado en procesos principales tales como: planear, abastecer, producir, distribuir y retornar. El objetivo del SCOR es proporcionar un método estandarizado para medir el rendimiento de la CS y utilizar un conjunto común de métricas para comparar con otras organizaciones y permitir mejorar la gestión entre sus miembros. Los indicadores de desempeño utilizados en la CS por medio del modelo SCOR buscan medir tanto el comportamiento a nivel interno (costos y activos), así como los externos (fiabilidad, respuesta y flexibilidad) de forma general.

El modelo SCOR integrado al *Balanced Score Card* (BSC) que es una herramienta de gestión estratégica de desempeño utilizada para medir si las actividades

operacionales están alineadas con sus objetivos a mayor escala en términos de visión y estrategia Council of Supply Chain Management Professionals (2013), amplía la visión del manejo de indicadores de desempeño y de gestión, de manera que las organizaciones actúan en función de sus mejores intereses a largo plazo. BSC no solo se enfoca en los resultados financieros sino también en los insumos operacionales, de marketing y de desarrollo, lo que ayuda a proporcionar una visión más completa de un negocio.

Reid (2014) escribió siglos atrás: «En cada cadena de razonamiento, la evidencia de la última conclusión no puede ser mayor que el eslabón más débil de la cadena, sin importar la fuerza del resto», esta frase ha sido alterada a través del tiempo y actualmente dicha de forma resumida de la siguiente manera: «Una cadena es tan fuerte como su eslabón más débil», se ha utilizado ésta para ilustrar distintos aspectos de la vida y de las organizaciones, más aún para la GCS, puesto que es así como una CS funciona, donde el eslabón más débil puede generar un gran impacto en el desempeño total de la red.

Algunos estudios realizados en los últimos años acerca de las razones de las disrupciones en la CS donde se ha investigado extensivamente, se encontró que en primer lugar las tendencias de globalización y tercerización hacen que una CS sea más complejo, menos observable y controlable; y que de acuerdo a la teoría de la complejidad, dichos sistemas se vuelven más sensibles a las interrupciones en los canales de transporte (Wilson, 2007) y (Lewis *et al.*, 2013). Otros trabajos mencionan que los eslabones más débiles en CS son aquellos que tienen un efecto directo en las finanzas de las organizaciones por una prolongación de los tiempos de ciclo totales. Monterroso (2000) argumenta que al dilatarse los tiempos de ciclo pedido-entrega, incide en el retraso de los siguientes procesos, también se atrasa el ciclo de cobranzas; de esta forma, el dinero permanece largo tiempo en el sistema, impactando negativamente en la rentabilidad. En esta línea, los procesos logísticos de transporte tanto de abastecimiento como de distribución resultan también en eslabones débiles, tanto más porque estos se enfrentan a condiciones

externas y algunas veces ajenas a la propia empresa, como lo son: inundaciones y otros desastres naturales, tránsito saturado de las vías de comunicación, bloqueo de las vías de comunicación, descompostura del transporte, entre otras.

Apoyándonos del modelo SCOR, los indicadores logísticos del BSC y a los eslabones más débiles, es que determinaremos qué indicadores pueden servirnos como variables de entrada de forma general, con la premisa que las variables de entrada para prioridad sean en función del tiempo y las de severidad en función de costo o penalidad.

- **Abastecimiento:** proceso o actividad asociada con la adquisición de productos o servicios suministrados por proveedores para garantizar la operación de la organización. El rango de actividades puede variar ampliamente entre las organizaciones para incluir todas las partes de las funciones de planificación de compras, compras, control de inventario, tráfico, recepción, inspección entrante y operaciones de rescate (Council of Supply Chain Management Professionals, 2013). Algunos indicadores de desempeño de este proceso logístico son los mostrados en la siguiente tabla 3.3:

Indicador	Objetivo	Prioridad o Severidad	Función de pertenencia sugerida
Costos de compras	Medir los costos de compras relacionados con los procesos internos y gestión de proveedores.	Severidad	Triangular y/o trapezoidal.
Tiempo de entrega del proveedor por pedido	Medir el tiempo que desde que se envía la orden de pedido al proveedor hasta que este entrega el producto en las instalaciones.	Prioridad	Triangular y/o trapezoidal.
Porcentaje de quejas sobre productos adquiridos y entregas perfectas	Determinar el porcentaje de quejas respecto a la cantidad de pedidos realizados por la empresa. Además, se incluye entrega perfecta en cantidad, referencia y tiempo.	Severidad	Triangular y/o trapezoidal.

Tabla 3.3: Indicadores en el proceso abastecimiento y compras

Fuente: elaboración propia basado en Zuluaga *et al.* (2014)

- Gestión de inventarios: es el proceso de garantizar la disponibilidad de productos a través de la administración del inventario para asegurar la operación del negocio y la cadena de suministro, incluyendo la atención de los pedidos de los clientes (Council of Supply Chain Management Professionals, 2013). Algunos de los indicadores de desempeño de este proceso logístico son los siguientes, tabla 3.4:

Indicador	Objetivo	Prioridad o Severidad	Función de pertenencia sugerida
Cobertura de inventario	Tiempo que la cantidad de inventario permite cubrir las necesidades de los clientes.	Prioridad	Triangular y/o trapezoidal.
Inventario dañado y obsoleto	Mide la cantidad de inventario dañado sobre el inventario total. Este valor se puede considerar en costos o unidades según la necesidad de la empresa.	Severidad	Triangular y/o trapezoidal.
Costo del inventario	Costo de inventario considerando productos, recursos para gestión, obsolescencia, mermas.	Severidad	Triangular y/o trapezoidal.

Tabla 3.4: Indicadores en el proceso de gestión de inventario

Fuente: elaboración propia basado en Zuluaga *et al.* (2014)

- Distribución y transporte: el proceso de transporte permite el movimiento físico de los productos a través de diferentes medios (terrestre, marítimo y aéreo) desde un punto de origen a punto de destino. En tanto la distribución comprende las actividades de carga y descarga en los medios de transporte para así transferir los productos entre los puntos de origen y destino en la CS para satisfacer las necesidades de los clientes en el tiempo, lugar y costos adecuados (Zuluaga *et al.*, 2014), en la siguiente tabla 3.5 se hace referencia a los indicadores de este rubro:
- Prioridad y severidad de un ED: dado que, las características de un ED con RE son la frecuencia del evento baja, que no se tiene contenido éste en un nivel de la CS y el impacto en el desempeño alto, es que se toman por defecto o de forma predeterminada la frecuencia del ED para determinar la prioridad; los

Indicador	Objetivo	Prioridad o Severidad	Función de pertenencia sugerida
Costos de transporte	Determinar el costo por kilómetro de cada modo de transporte y los gastos asociados.	Severidad	Triangular y/o trapezoidal.
Ciclo de tiempo de transporte	Medir el tiempo que transcurre mientras se carga el producto hasta que se entrega en el destino.	Prioridad	Triangular y/o trapezoidal.
Incumplimiento de pedidos	Tiempo de atraso en las entregas de pedidos al cliente o volumen de pedidos con incumplimiento.	Prioridad	Triangular y/o trapezoidal.

Tabla 3.5: Indicadores en el proceso de distribución y transporte

Fuente: elaboración propia basado en Zuluaga *et al.* (2014)

niveles afectados de la CS y la cuantificación monetaria aproximada para la remediación del daño para la severidad, esto se muestra en la siguiente tabla 3.6.

Indicador	Objetivo	Prioridad o Severidad	Función de pertenencia sugerida
Frecuencia del ED	Determinar cuántas veces se ha presentado el evento.	Prioridad	Triangular y/o trapezoidal.
Niveles afectados de la CS	Determinar el número de niveles afectados.	Severidad	Triangular y/o trapezoidal.
Cuantificación monetaria aproximada para la remediación del daño	Calcular el costo de reparación y recuperación operacional de la CS.	Severidad	Triangular y/o trapezoidal.

Tabla 3.6: Indicadores de prioridad y severidad del ED

Fuente: elaboración propia

Una vez determinado el nivel o índice de alerta del ED, por medio de un sistema basado en reglas es que se identifican los destinatarios de la notificación, donde se seleccionará quienes son los responsables de tomar acciones para minimizar el efecto del ED y finalmente se enviará la notificación. Por ejemplo, si un ED tiene una prioridad «Media» y una severidad «Baja», este ED tiene un índice de criticidad de «Alerta» donde los destinatarios de la notificación tienen un nivel de mando y

toma de decisiones medio, pero si un ED tiene una prioridad «Alta» y una severidad «Muy alta», este ED tiene un índice de criticidad de «Crítico» lo que implicaría de los destinatarios de la notificación deberían tener un nivel de mando y toma de dedcisiones alto para poder aplicar acciones correctivas inmediatas para controlar el ED en cuestión.

El propósito de la notificación es informar de manera inmediata a los responsables de la toma de decisiones y acciones correctivas cuando un ED se presenta, además de determinar por medio del nivel de alerta para así poner especial atención y un sentido de urgencia para controlar la disrupción, aunque eso no exime que aunque el nivel de alerta sea crítico y que la lista de distribución tome en cuenta a aquellos con mando alto, la notificación también debe incluir a subordinados a fin de participar en conjunto a la resolución del problema, mas no al contrario, lo que quiere decir que si el ED es determinado con un nivel de alerta de «Aviso» o «Advertencia» esta notificación no debería llegar a aquellos con mando alto debido a que el ED podría ser controlado por aquellos destinatarios con mando bajo o medio.

En seguida, en la figura 3.7 se presenta un diagrama del proceso de notificación con las funciones o actividades de cada agente.

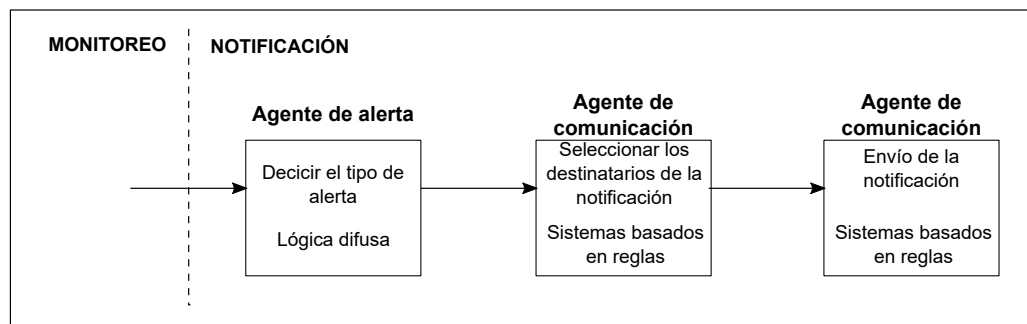


Figura 3.13: Proceso de Notificación

Fuente: basado en Zimmermann (2006)

Finalmente, en la figura 3.8 podemos ver gráficamente una representación de cómo están establecidos los agentes hasta esta fase, tomando en cuenta las primeras dos funciones de GECS monitoreo y notificación, de acuerdo a lo anteriormente

explicado.

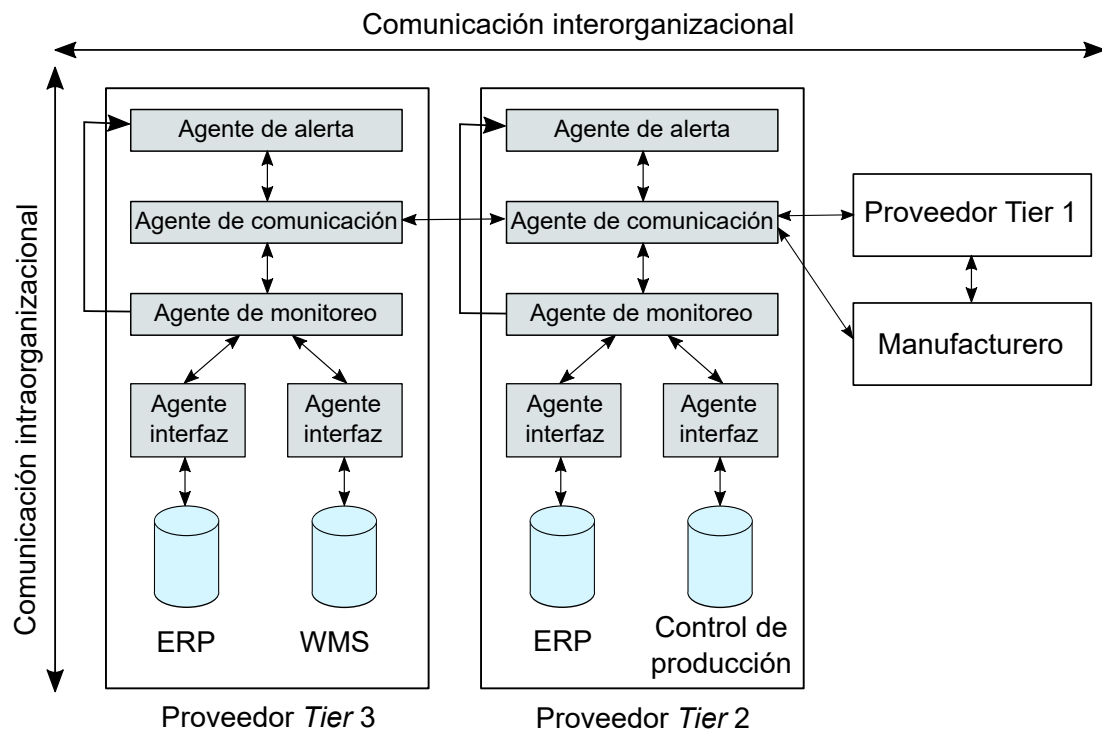


Figura 3.14: Función de agentes

Fuente: basado en Giannakis y Louis (2011)

3.3.3 SIMULACIÓN

Posterior al monitoreo y la notificación, la toma de decisiones se apoya a través de la evaluación de las consecuencias de los ED y la creación de diferentes escenarios de las acciones de gestión específicas que se podrían tomar, inclinándose por aquellos escenarios con mayor probabilidad de éxito.

La simulación se utiliza para verificar y comparar alternativas para resolver variaciones y efectos resultantes en otros procesos a lo largo de la CS.

Dependiendo de los parámetros que corresponden a los procesos que se van a simular, los *inputs* o datos de entrada, así como el nivel de abstracción, es que se seleccionará el paradigma o tipo de simulación más conveniente.

Grigoryev (2016) presenta un gráfico para entender y ubicar cada paradigma de simulación respecto a sus características, en esta se puede ver dónde se encuentra cada tipo de simulación con respecto al nivel de abstracción y sus características particulares (ver figura 3.9).

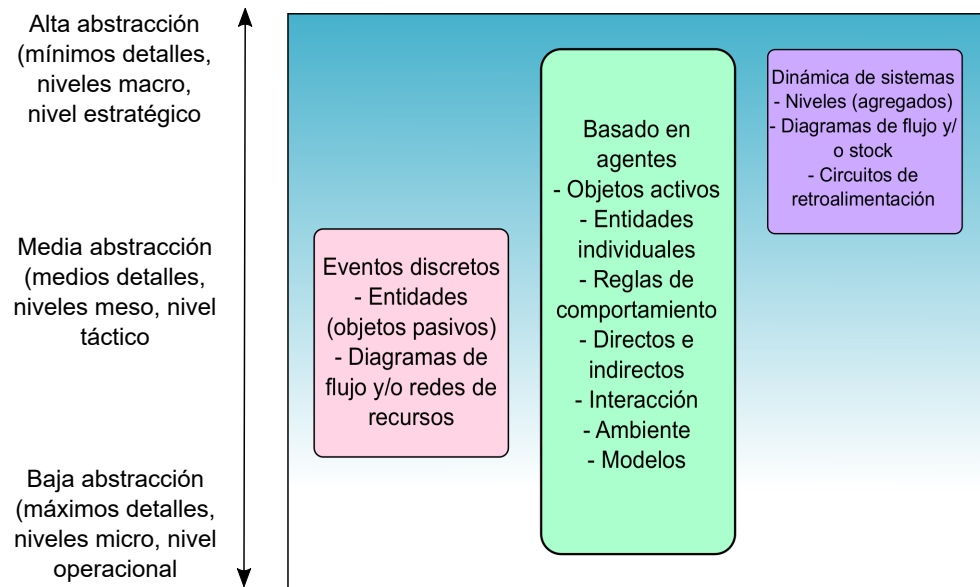


Figura 3.15: Tipos de simulación

Fuente: "Methods in simulation modeling" de Grigoryev (2016)

Existe además un trabajo de aplicación de DES y SD, desarrollado por Tako y Robinson (2012) en el contexto de la logística y la CS, donde se comparan estos dos tipos de simulación, en el que se concluye que DES se considera más adecuado para modelar problemas a nivel operacional/táctico, mientras que SD es más adecuado para modelar problemas a un nivel estratégico. De este trabajo se desprende una gráfica donde hacen inferencia a ciertos *issues* de logística y CS distribuidos de forma tal al tipo de simulación utilizada en su abordaje, ver figura 3.16.

Con base en lo anterior, para la simulación adoptada a ciertos ED en el proyecto se aplicará DES o SD según sean las características del proceso o procesos a simular, se concluye para esta función de simulación un esquema que puede verse en la figura 3.17 donde se ejemplifica el tipo de simulación a utilizar en el contexto de CS.

Una vez replicado por medio de la simulación la situación actual o real de la

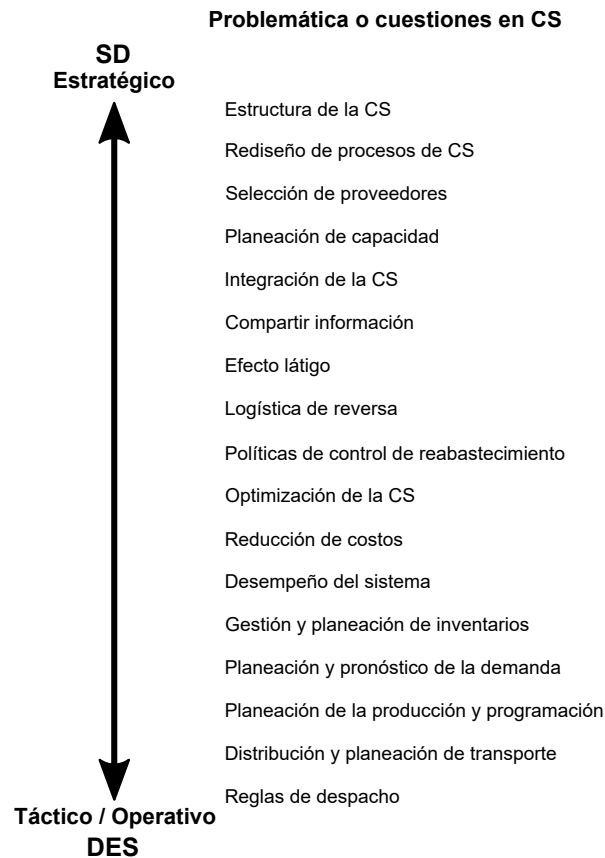


Figura 3.16: Categorización de problemas de logística y CS

Fuente: «Ordering of LSCM issues into strategic and operational/tactical» Tako y Robinson (2012)

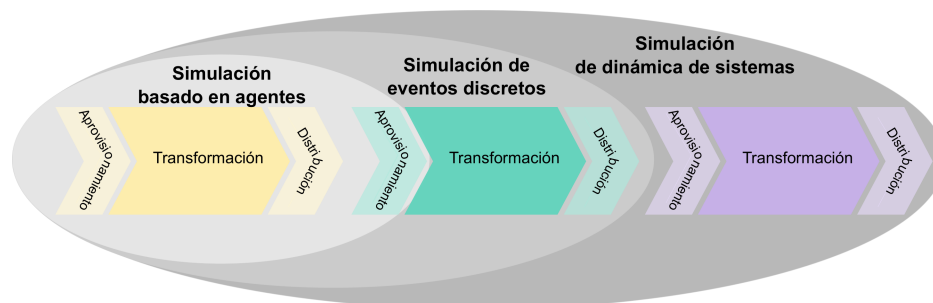


Figura 3.17: Tipo de simulación en el contexto de logística y CS

Fuente: elaboración propia

problemática presentada, se genera a su vez otra simulación con los posibles escenario de las distintas alternativas como acciones correctivas. La simulación, permite estimar tácticas de corrección o mejora sin perturbar el funcionamiento del sistema real; crear hipótesis sobre ciertos eventos y validarlas; analizar las disrupciones observando el estado de otros recursos, es decir, su impacto y entender la holística del sistema. Posterior a ello, los tomadores de decisiones evalúan y analizan los distintos escenarios, esto da la pauta a seleccionar el escenario más prometedor o con la mayor probabilidad de éxito, proporcionando así una decisión más acertada.

3.3.4 CONTROL

En esta función de GECS, se pone en marcha las acciones correctivas seleccionadas como mejor alternativa que ofrece la simulación para eliminar o disminuir el efecto del ED. En esta etapa es importante validar que lo que se deseaba obtener conforme a la simulación y lo planeado sea el resultado obtenido, valorando la efectividad de las acciones tomadas. En caso contrario, en esta etapa se vuelven a calibrar los parámetros del proceso a fin de no afectar el desempeño de la CS.

Una metodología sencilla como el ciclo *Plan-Do-Check-Act* (PDCA) de Deming se sugiere para esta etapa, o la metodología que siga la empresa para seguimiento de acciones correctivas.

PDCA es una metodología que consta de cuatro etapas a fin de resolver una problemática o dar seguimiento a un proyecto. Las cuatro etapas son (Lewis, 1998):

- *Plan*: definir los objetivos y por medio de un plan determinar las condiciones para llevarlo a cabo.
- *Do*: se crean las condiciones y se informa a los involucrados para ejecutar el plan. Es primordial que todos comprendan a fondo los objetivos y el plan, así como proveerlos de los procedimientos y las habilidades que necesitan.

- *Check*: verificar y evaluar si se está progresando de acuerdo con el plan y si se obtienen los resultados esperados. En esta etapa pueden aparecer algunas, en este caso, debe iniciarse un análisis de la causa de la anomalía para evitar que vuelva a suceder.
- *Act*: si el *check* revela que el trabajo realizado no va de acuerdo con el plan o que los resultados no son los esperados, se deben idear medidas para la acción adecuadas para corregir o replantear el plan.

Es preciso señalar que, a pesar de que la notificación en caso de tener el ED un nivel de alerta «Crítico» con la toma de decisiones para altos mandos, la participación y comunicación a todos es indispensable para aplicar las acciones control correspondientes y lograr la resolución de la problemática con éxito.

3.3.5 MEDICIÓN

En esta última etapa o función de GECS, se deben estandarizar las acciones exitosas, haciendo los cambios o ajustes necesarios a los KPI's para el monitoreo continuando así el ciclo de la metodología de GECS para situar en un contexto holístico a la herramienta.

Cuando la atención pasa de mirar las brechas entre los parámetros esperados o planeados y medidos reales a considerar de las consecuencias de un ED a lo largo de toda la CS, luego la gestión de eventos se convierte en una forma de obtener información sobre la dinámica de la propia CS y una herramienta para comprender y gestionarla estratégicamente, además de evitar futuros ED.

Pero no solamente la función de medición nos permite alimentar un repositorio de información para un nuevo monitoreo, los elementos anteriores conducen finalmente a una división de eventos en cuatro tipos principales (Fantozzi, 2003) que nos permitirán tomar acciones adicionales para mejorar el desempeño de la CS global:

- ED que no tienen consecuencias en toda la CS: estos son eventos que ocurren en actividades con tiempos de inactividad e introducen perturbaciones con una duración más corta que la holgura disponible, estos caben en la categoría de reglas del negocio previamente descritas en las consideraciones previas para GECS, pero que posiblemente tengan que re-evaluarse a fin de mejorar.
- ED que introducen demoras en la CS: estos son eventos que recaen en la ruta crítica (que es la ruta más larga de la CS), por lo tanto, cualquier retraso que introduzcan se propagará por toda la red, para lo cual es importante tener nuevos medibles desprendidos de la función de control.
- ED que definen nuevas rutas críticas: estos eventos no solo introducen demoras en la red, sino que también redefinen la concatenación de rutas que forman la ruta crítica. Tales eventos introducen cambios sustanciales en la criticidad del cambio entonces nuevas actividades de repente pueden asumir un significado diferente para la CS global.
- ED **nuevos**: la definición de lo que es un ED nuevo se puede expandir más allá de una sola ocurrencia. Esta condición puede incluir tomar en cuenta nuevos patrones de demanda y oferta, cambios en las probabilidades, elementos que no se hayan tomado en cuenta anteriormente y una serie de otros elementos que pueden influir en un patrón de criticidad.

CAPÍTULO 4

EXPERIMENTACIÓN

Posterior a la metodología descriptiva de GECS, este capítulo presenta una metodología analítica de GECS que es un análisis escrutinio de cómo se implementaría la herramienta bajo las condiciones dadas del caso de estudio en la experimentación. Se pretende que la herramienta sea sencilla, fácil de usar y de interpretar.

4.1 METODOLOGÍA ANALÍTICA PARA SU APLICACIÓN EN EL PROYECTO

La aplicación de la metodología GECS más adecuada depende de las características de la empresa y de la CS donde se desea implementar. En esta sección se describe cada una de las funciones de GECS con la particularidad de plasmar cómo se aplicaría bajo las condiciones en las cuales se encuentra el caso de estudio, a las limitaciones de infraestructura física y de comunicaciones de la propia CS.

4.1.1 CASO DE ESTUDIO

Un sector que se ha destacado por permanecer a la vanguardia en tecnología y en métodos operacionales es el sector automotriz. Este es un sector que aporta grandes ganancias al PIB en aquellos países donde se localizan las diferentes armadoras, pero también es aquella con las mayores pérdidas ante una disrupción debido a que trabajan bajo esquemas de manufactura justo a tiempo (*Just in Time JIT*) y justo en secuencia (*Just in Sequence JIS*), donde una disrupción puede tener grandes consecuencias y trascendencia en los diferentes niveles de la CS, una característica particular del RE.

El caso de estudio se centra en una empresa manufacturera ensambladora de autos, con una inversión cercana a los 3,500 millones de dólares y con una capacidad de producción aproximada de 250,000 unidades anuales. La distribución de unidades terminadas tiene como destino el continente americano y el resto del mundo, así como destinos nacionales, siendo la forma multimodal el medio de transporte para los destinos internacionales y terrestre para los nacionales. La distribución inicia en un patio logístico, donde se planea y ejecuta el envío de unidades terminadas bajo 3 escenarios, vía ferrocarril para los destinos Estados Unidos (oeste) y Canadá; vía terrestre para los destinos nacionales; y vía terrestre se envían unidades a un puerto que a su vez distribuye al resto del mundo y a Estados Unidos (este). Solo para distribución nacional se realiza el envío directo a los concesionarios, para el resto los envíos llegan a otros patios logísticos, la estructura de la CS del caso en cuestión puede ser vista en la figura 4.1.

Algunos antecedentes acerca del caso de estudio son:

Siendo que, el transporte es esencial para garantizar el traslado de las unidades origen/destino a través de los diferentes nodos de distribución, éste se considera un eslabón débil debido a que existen diferentes factores (como los motivos de interrupción antes mencionados) no inherentes a la propia ensambladora y a su planificación

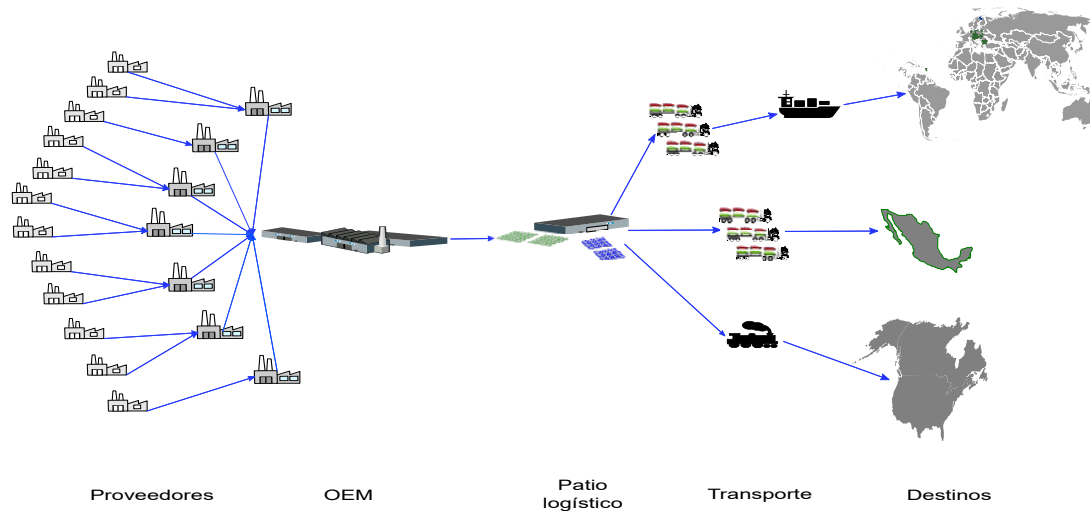


Figura 4.1: Estructura de la CS del caso de estudio

Fuente: elaboración propia

que no contempla; la debilidad del eslabón también radica en que al estar más cerca del consumidor final deja menos tiempo de reacción para reestablecer el flujo sin afectar los tiempos de cumplimiento; otro aspecto de vulnerabilidad del eslabón es, que se le atribuye al transporte y/o la distribución el 49 % de los costos logísticos totales, según datos del estudio *Logistics Cost and Service* de la firma experta en logística Establish Inc. (The Establish Inc *et al.*, 2010).

Debido a una lluvia extrema, puntualizando que es una precipitación no común en la región, ocasionó el daño total y/o parcial de algunas unidades terminadas, donde el daño fue más significativo porque además hubo un gran rate de producción, para lo cual se requiere de una inspección final antes de pasar las unidades al patio logístico, pero este proceso no se llevó a cabo y las unidades quedaron puestas en lugares no apropiados dentro de la planta. Puesto que, los eslabones de la CS subsecuentes ya habían contemplado y planeado la distribución, ya no se contaba con el número total de unidades para completar las cargas a los diferentes destinos creando un RE en la CS, para el caso en particular nos enfocaremos en los eslabones de distribución y transporte, procesos logísticos que planifica, ejecuta y da seguimiento el patio logístico 4.2.

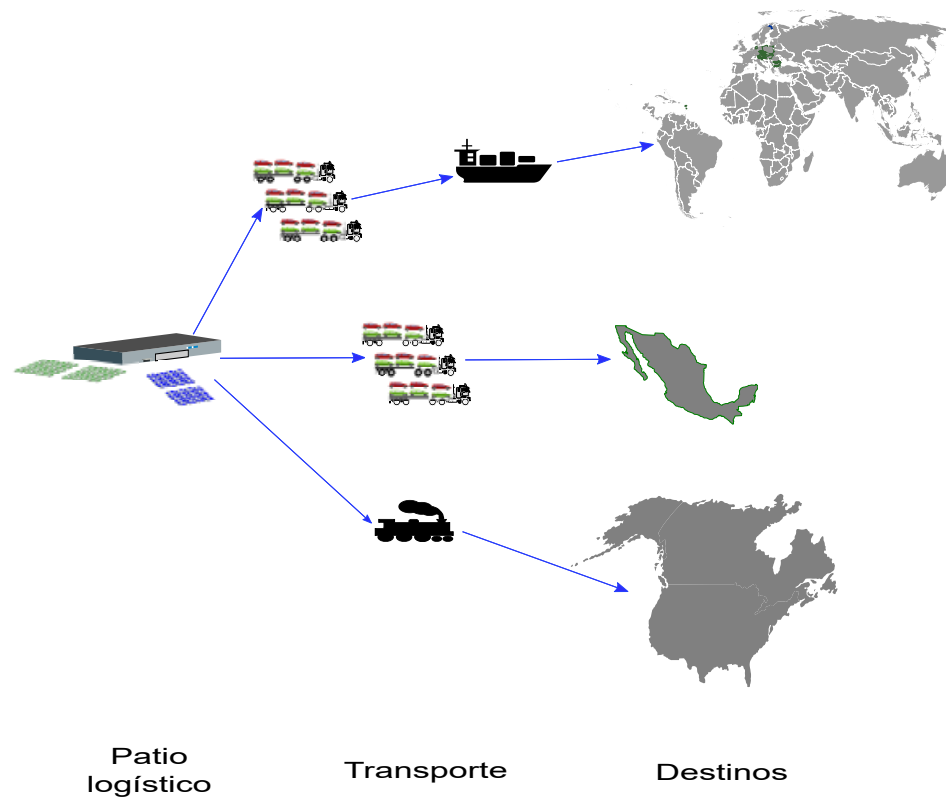


Figura 4.2: Distribución y transporte

Fuente: elaboración propia

En promedio se embarcan 1000 unidades a los diferentes destinos de los modelos: A, B, C, D, E y F. En esta ocasión, la pérdida total y el daño parcial fue de 200 unidades entre las que se encontraban los diferentes 6 modelos para los 3 destinos. Una vez las unidades en el patio logístico pasan por un proceso de inspección antes de ser embarcada donde se revisa el funcionamiento de la unidad, se realiza el etiquetado y accesorizado final (personalizado); luego pasan al área de almacenaje donde se forman éstas de acuerdo a su ruta o destino. A continuación se detalla cada uno de los procesos de los diferentes destinos:

- **Destino resto del mundo:** para éste se toman las unidades del área de almacenaje y se embarcan en tractocamiones nodrizas, se traslada las mismas a un puerto donde son descargadas y cargadas nuevamente a un buque que las lleva a un puerto del este de Estados Unidos y a distintos puertos en los destinos de América del Sur, Europa, África y Asia.

- **Destino nacional:** para este destino se toman las unidades del área de almacenaje, se cargan éstas en tractocamiones nodrizas y arriban a los distintos concesionarios nacionales.
- **Destino Estados Unidos (oeste) y Canadá:** para éste se toman las unidades del área de almacenaje y se embarcan en plataformas ferroviarias, éstas transportan las mismas al oeste de Estados Unidos y Canadá, arriban a patios logísticos de ambos países.

4.1.2 MONITOREO

El tipo de monitoreo realizado para este caso es reactivo, de la categoría de situación «activador de alerta» que como se mencionó en el capítulo anterior es aquel donde se recibe una alerta por parte de un miembro de la cadena que identifica el DE.

4.1.3 NOTIFICACIÓN

Para la selección efectiva de las variables de entrada, se toma en cuenta la situación actual de la empresa o eslabón líder de la CS según sus directrices y visión estratégica, referenciando indicadores estándar de las empresas; y son precisamente estos indicadores previamente ya definidos para cada eslabón de la CS que tomaremos en cuenta para las variables de entrada.

Apoyándonos de la lógica difusa, es que determinamos las variables de entrada para obtener la «severidad del ED» y la «prioridad del ED» y debido a que nos enfocaremos (de acuerdo al alcance del trabajo) en un ED con RE debemos precisar entonces la severidad del ED de acuerdo a las características o indicadores propios del RE como lo podemos apreciar en la tabla 3.6 del capítulo anterior.

A continuación se describen los pasos para obtener la notificación:

- **Obtener las variables de entrada de prioridad del ED:** recordemos que éstas van en función del tiempo y aquellas concernientes al proceso logístico de distribución y transporte. Para estas ingresamos por defecto la frecuencia del ED por tener éste RE y podemos apreciarlo en la tabla 4.1.

Indicador	Objetivo	Escala	Descripción de la escala	Valor asignado
Frecuencia del ED.	Determinar cuántas veces se ha presentado el evento.	1-10	1 primera vez que el ED se presenta y subsecuentemente el número de veces que el ED ocurre	1
Ciclo de tiempo de transporte	Medir el tiempo que transcurre mientras se carga el producto hasta que se entrega en el destino.	1-5	1 muy rápido, 2 rápido, 3 en tiempo, 4 con atraso, 5 retraso e incumplimiento.	5
Incumplimiento de pedidos	Volúmen de pedidos con incumplimiento.	1-5	Del volumen planeado el porcentaje afectado: 1 del 1-19 %, 2 del 20-39 %, 3 del 40-59 %, 4 del 60-79 % y 5 del 80-100 %.	2

Tabla 4.1: Prioridad del ED del caso

Fuente: elaboración propia

- **Obtener las variables de entrada de severidad del ED:** recordemos que éstas se realizan en función de costos, castigos o penalidades y aquellas concernientes al proceso logístico de distribución y transporte. Para estas ingresamos por defecto los niveles afectados de la CS por ser un ED con RE y la cuantificación monetaria, ya que el RE tiene un impacto en el rendimiento o desempeño de la CS, la siguiente tabla 4.2 detalla las variables de entrada.
- **Fuzificación:** consiste en tomar las variables de entrada (de prioridad y de severidad) y determinar el grado de pertenencia de éstas a los conjuntos difusos asociados. De este modo cada entrada se fuzifica sobre todas las funciones de pertenencia utilizadas en la reglas difusas. Para este proceso nos apoyamos del *software* Matlab.

Indicador	Objetivo	Escala	Descripción de la escala	Valor asignado
Niveles afectados de la CS.	Determinar cuántos niveles o eslabones se ven afectados por el ED.	1-5	1 un nivel afectado en la CS y subsecuentemente el número de niveles afectados.	3
Cuantificación monetaria aproximada.	Calcular el costo de reparación y recuperación operacional de la CS, así como el costo de las unidades consideradas pérdida total.	1-5	1 menos de la mitad del presupuesto asignado, 2 cerca del presupuesto asignado, 3 supera un poco el presupuesto asignado, 4 se requiere autorización de presupuesto ya que sobrepasa el presupuesto asignado, 5 incuantificable por el exceder.	4
Costos de transporte.	Determinar el costo por kilómetro de cada modo de transporte y los gastos asociados, para este caso adicionales y el que se pierde por el buque que zarpó sin carga.	1-5	Porcentaje adicional del costo de transporte planeado: 1 del 1-19 %, 2 del 20-39 %, 3 del 40-59 %, 4 del 60-79 % y 5 del 80-100 %.	3

Tabla 4.2: Severidad del ED del caso

Fuente: elaboración propia

Para el caso de la prioridad, se ingresan las variables mencionadas anteriormente, donde para la frecuencia se utiliza una función de pertenencia trapezoidal, para ciclo de tiempo de transporte triangular y de igual manera para el incumplimiento de pedidos en la figura 4.3 se representa cómo se ingresan las variables de entrada a Matlab con su función de pertenencia correspondiente.

- **Evaluación de reglas:** tomamos las entradas anteriores y se aplican las reglas difusas. Si una regla tiene múltiples antecedentes (como nuestro caso que son 3) se utiliza el operador difuso AND u OR para obtener un único número que represente el resultado de la evaluación. Esto se indica en la figura 4.4:
- **Agregación de las salidas:** en este paso se unifican las salidas de todas las reglas; es decir, se combinan las funciones de pertenencia de todos los consecuentes, combinando para obtener un único conjunto difuso por cada variable de salida 4.4.

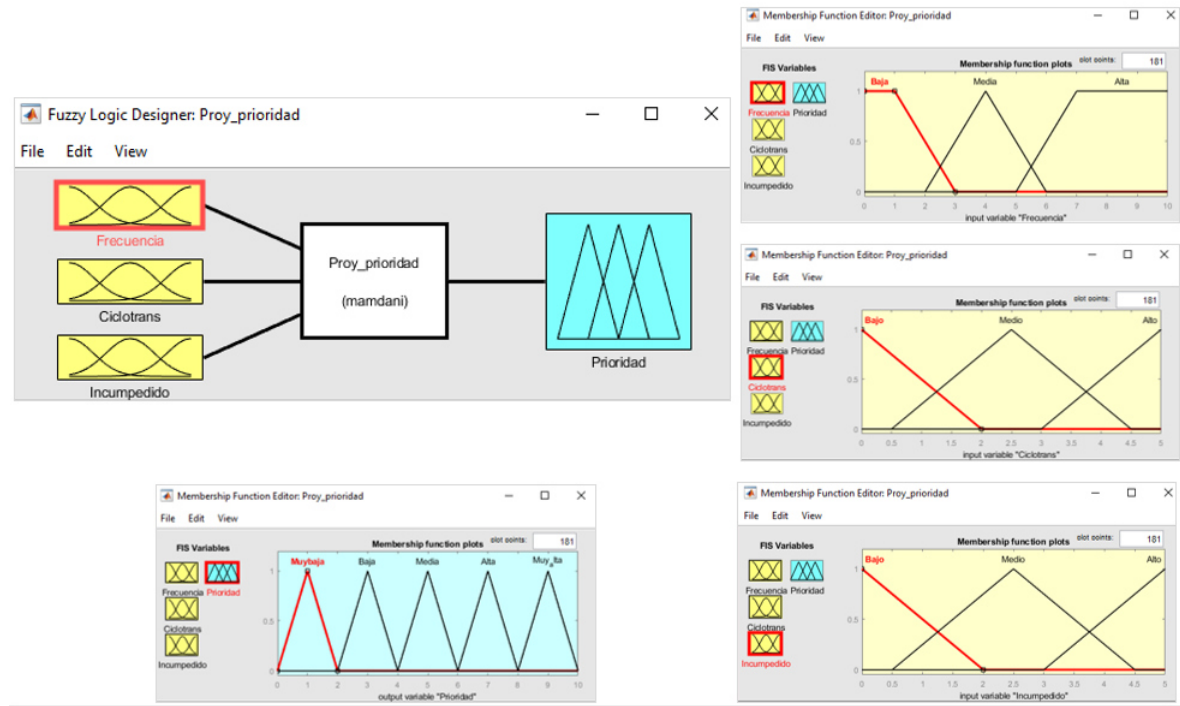


Figura 4.3: Fuzificación de prioridad

Fuente: elaboración propia

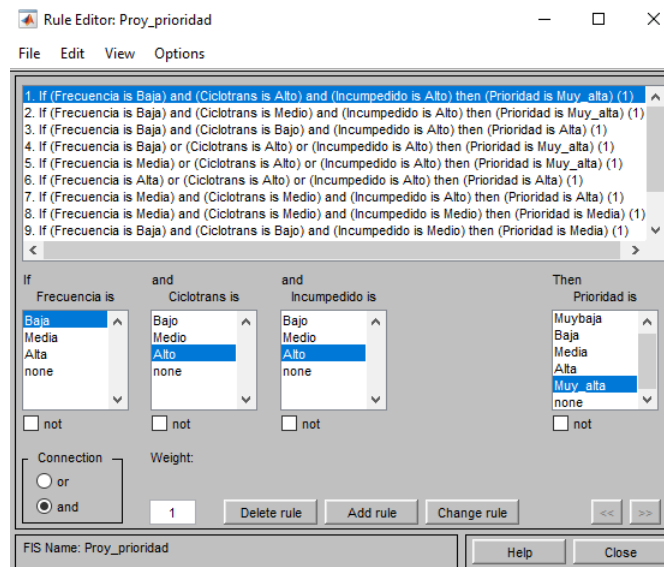


Figura 4.4: Reglas de prioridad

Fuente: elaboración propia

- **Desfuzificación:** el resultado final es un valor lingüístico. En esta fase se toma como entrada el conjunto difuso anteriormente obtenido para dar un valor de salida. Existen varios métodos de desfuzificación, pero probablemente el más ampliamente usado es el centroide; ayudándonos de Matlab, cambiamos los valores de pertenencia en la regla que corresponde a nuestro caso: Frecuencia = 1, Ciclo de tiempo de transporte = 5, e Incumplimiento de pedido = 2; entonces el programa nos dará el valor de salida que corresponde a: 7 = Prioridad Alta como se aprecia en la figura 4.5.



Figura 4.5: Desfuzificación de prioridad

Fuente: elaboración propia

Se repiten los pasos de fuzificación, evaluación de reglas, agregación de salidas y desfuzificación para «severidad» y obtenemos lo siguiente de la figura 4.6:

Como podemos ver esta tiene una nivel de atención de «Crítico». Finalmente,

Si			Entonces		Entonces
Frecuencia	Ciclo de tiempo de transporte	Incumplimiento de pedidos	Prioridad	Severidad	Notificación
1	5	2	Alta		Lista de distribución de la notificación
Niveles afectados de la CS	Cuantificación monetaria aproximada	Costos de transporte			
3	4	3		Muy alta	



		Severidad al ED					<div> <div></div> Aviso <div></div> Advertencia <div></div> Alerta <div></div> Falla <div></div> Crítico </div>
		Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta	
Prioridad al ED	Muy baja						
	Baja						
	Media						
	Alta						
	Muy alta						

Figura 4.6: Lógica difusa de la notificación

Fuente: elaboración propia

se envía la notificación a los responsables de la toma de decisiones para este tipo de ED.

4.1.4 SIMULACIÓN

La exigencia de un análisis no solo de ED con RE, sino de cualquier proceso en la CS ha sido reconocida y considerada sistemáticamente en la literatura de simulación con respecto al análisis de riesgos, el impacto en el rendimiento y la evaluación de la resiliencia.

La simulación se realizará con ayuda del software Anylogic® puesto que es un software que contiene la forma de simular bajo los 3 paradigmas de simulación, que permite no solo visualizar los procesos de la CS, sino observar el impacto de las disrupciones y los tiempos de recuperación en distintos escenarios.

Para este caso emplearemos el tipo de simulación «dinámica de sistemas» puesto que como se describió en el capítulo anterior se sugiere en los siguientes casos:

- Modelar el sistema como una estructura causalmente cerrada que define su propio comportamiento.
- Descubre los lazos de retroalimentación del sistema (causalidad circular) equilibrando o reforzando. Los ciclos de retroalimentación son el corazón de la dinámica del sistema.
- Identificar las existencias (*stocks*) y los flujos que las afectan.

Las existencias son acumulaciones en cada una de las localidades (patio de inspección, patio logístico, cargas listas para su embarque en las distintas modalidades de transporte). Son la memoria del sistema y las fuentes de desequilibrio. El modelo solo funciona con agregados: los elementos del stock son indistinguibles. Los flujos son las velocidades o tasas a las que cambian estos estados del sistema.

Primeramente se replica la situación real o actual de la CS con el ED, esta simulación es de tipo **dinámica**, ya que es la descripción de un sistema y las reglas por las que opera: la lógica del proceso comercial y las interdependencias entre los miembros de la cadena. Un modelo de simulación es dinámico porque es ejecutable, lo que significa que puede ejecutar el modelo y ver cómo se comporta el sistema a lo largo del tiempo.

Este modelo de simulación dinámica es como un juego de computadora de la CS, que le permite experimentar con nuevas mejoras y seguimiento de métricas, sin alterar el sistema real.

A continuación se describen los pasos para realizar el modelo de simulación del caso de estudio:

- Crear un diagrama de *stock* y flujo: modelaremos con el paradigma de dinámica de sistemas, ya que permite modelar como una estructura causalmente, con lazos de retroalimentación del sistema, identificación de las existencias (acumulaciones) y los flujos que las afectan. Las existencias son acumulaciones y caracterizan el estado del sistema.

De la «paleta» de dinámica de sistemas dibujamos el digrama de *stock* y flujo, algo muy similar a la CS del caso, ver figura 4.7.

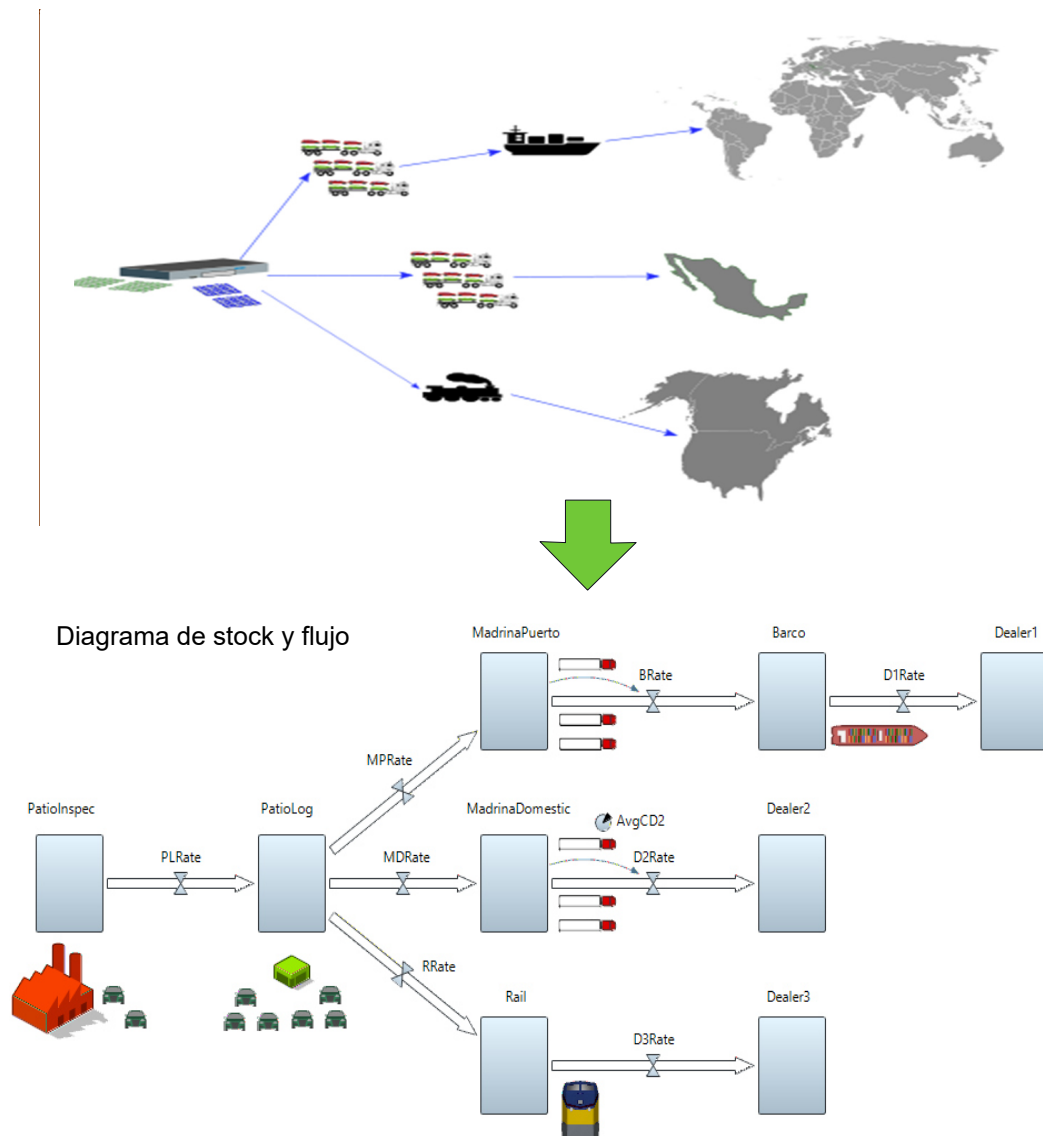


Figura 4.7: Diagrama de stock y flujo

Fuente: elaboración propia

Nombramos los *stocks* que en este caso son la ensambladora, el patio logístico, los tres tipos de carga y los destinos, además agregamos cómo es que va el flujo de las unidades entre las distintos *stocks* o entidades.

- Fórmulas de *stocks*: AnyLogic genera automáticamente la fórmula de una acción de acuerdo con el diagrama de *stock-and-flow* del usuario. El valor

del stock se calcula de acuerdo con los flujos que entran y salen del stock. Los flujos aumentan de acuerdo al valor de las existencias que se suman y el valor de las salidas se resta del valor actual de la existencia. La fórmula no es editable y no hay otros elementos, los flujos están predefinidos y promediados hasta llegar a los 3 puntos de carga.

- Parámetros y dependencias: ahora, vamos a definir los parámetros y las dependencias. Agregamos los parámetros necesarios con los valores correspondientes:
 - Producción total = 1,200 unidades
 - Unidades no conformes = 0.05
 - Unidades dañadas = 200
 - Inspección de unidades = 1,000 unidades diarias
 - Unidades con ruta = 1,200 unidades
 - Unidades cargadas totales = 1,200 unidades
 - Unidades con destino resto del mundo = 60 % unidades producidas
 - Unidades con destino EU y Canadá = 25 % unidades producidas
 - Unidades con destino doméstico = 15 % unidades producidas
- Parámetros y dependencias: se usan enlaces para definir gráficamente las dependencias entre los elementos de un diagrama de flujo y stock, de ser necesario se agrega una fórmula de la dependencia si es que existe, para nuestro caso un parámetro es el daño de las unidades y su indisponibilidad en el flujo hacia el patio logístico como se muestra en la figura 4.8.
- Ejecutar el modelo e inspeccionar la dinámica de las variables: se compila o ejecuta el modelo y se observa cómo el flujo de las unidades pasa a través de los diferentes eslabones de distribución, en cuanto existe un *stock-out* o se agotan las existencias para continuar con el flujo, éste se pone en rojo, como se puede observar en la figura 4.9. En esta fase podemos ajustar la escala de tiempo a la cual queremos que el modelo se ejecute para observar

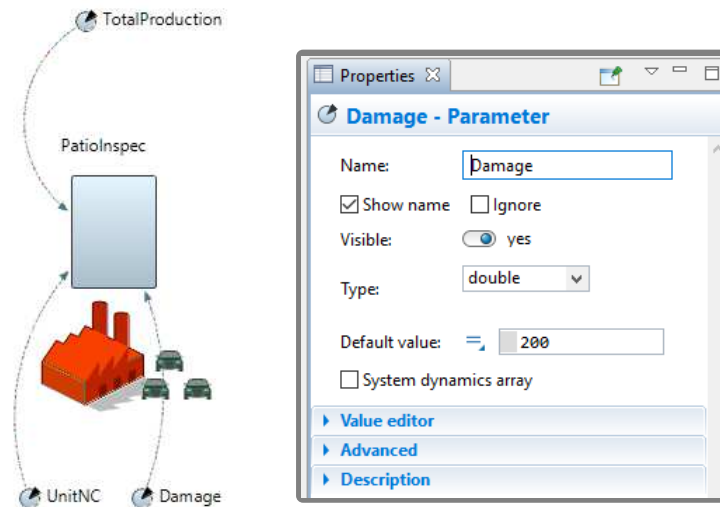


Figura 4.8: Parámetros y dependencias

Fuente: elaboración propia

detenidamente la dinámica del mismo, al igual que si se hace de manera más rápida para observar la dinámica a través del tiempo.

Esta es una de las ventajas de la simulación, que no necesitamos esperar un tiempo prolongado para visualizar el impacto de un ED a través del tiempo, basta con aumentar la escala de tiempo de la ejecución.

- Cambio de parámetros. Además de la ejecución del modelo para saber cómo se comporta éste por la problemática planteada, se puede explotar aún más agregando editores de los parámetros. Se selecciona el parámetro que se desea evaluar, con el click derecho aparece la opción de crear controles, en el cuadro de diálogo de propiedades se ajusta el intervalo donde se podrá ajustar dicho parámetro. Por ejemplo, para el caso del parámetro de *Damage* de nuestro caso, se ajusta un mínimo de 0 y un máximo de 200 (unidades dañadas), es decir, que al momento de ejecutar mi simulación se podrá mover el *slide* parámetro desde 0 y hasta 200 unidades.

De esta manera se puede evaluar los parámetros que alimentan el modelo.

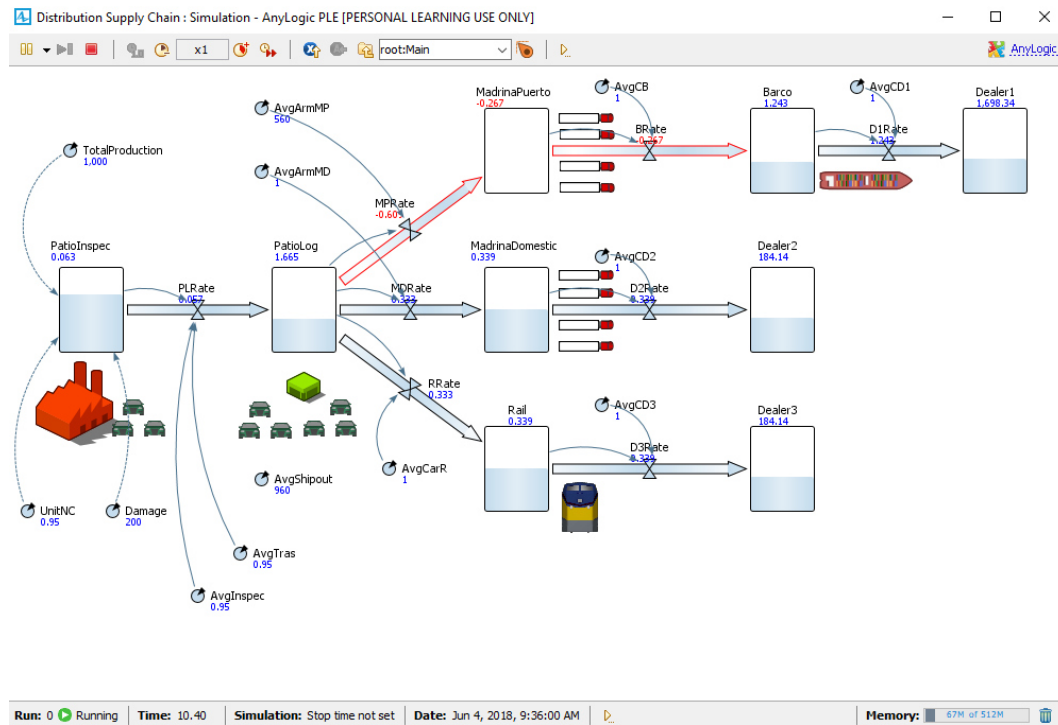


Figura 4.9: Ejecución del modelo

Fuente: elaboración propia

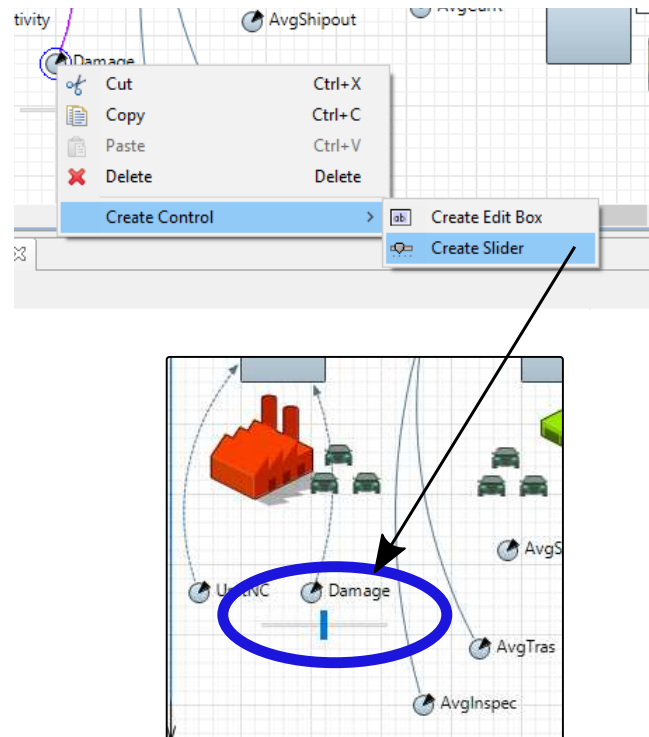


Figura 4.10: Cambio de parámetros

Fuente: elaboración propia

4.1.5 CONTROL

A causa de que en un principio, cuando el ED ocurrió, no se contaba con la simulación, se optó por el escenario 1.

Aunque de acuerdo a la metodología de GECS, en esta función se implementan las acciones correctivas y se estandarizan las medidas exitosas derivadas de las mejores alternativas que ofrecen los distintos escenarios descritos por la simulación.

De esta etapa no se tienen datos debido a la confidencialidad en sus procesos de gestión en la implementación de acciones correctivas, sin embargo, se realiza un comparativo de la alternativa implementada contra la alternativa sugerida en la sección de resultados.

4.1.6 MEDICIÓN

Para darle una funcionalidad proactiva al monitoreo debemos en esta etapa hacer los cambios o ajustes necesarios a los KPI's y por qué no, también creando nuevos indicadores para aquellos ED nuevos, de este modo se cierra y continúa el ciclo de la metodología de GECS para alimentar el sistema con la información pertinente para un monitoreo predictivo.

Consecuencia de lo anterior algunas medidas preventivas para el monitoreo de un futuro evento fueron:

- Cuando exista una sobreproducción (o tiempo extra), necesariamente el resto de los procesos como el de inspección de unidades terminadas deberá satisfacer la demanda.
- El *forecast* del programa de producción no puede ser superado por más 2 % por la producción real, a menos que sea informado con más de 24 horas a todos

los involucrados; se consideraba un límite inferior, mas no un límite superior.

- Debido a que la inspección no puede realizarse sin luz natural, en el inventario de esta área no se permite tener excesos por ningún motivo.
- No puede haber más del número de unidades que caben en el área de inspección a final de turno, cualquier situación alterna deberá ser avisada y de ser necesario mover las unidades al patio logístico en un área restringida e identificada como: «pendiente de inspección».
- Se crea un nuevo indicador, se contemplaba el indicador de «Inventario dañado y obsoleto», pero se crea un nuevo concepto por «Inventario pérdida DN» ya que mide daños pero por causas diferentes considerables (que van a un centro de costos distinto) en un impacto financiero, operacional y en productividad.
- % de utilización de espacio se contemplan indicadores de utilización de espacio y almacén no solo para material productivo sino también para los diferentes *stocks* de unidades terminadas desde producción hasta el embarque a sus respectivos destinos.

Todos estos indicadores ajustados o nuevos servirán para el monitoreo futuro y evitar un ED.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS Y ANÁLISIS

Una vez realizada la experimentación en el capítulo anterior, donde se describe detalladamente la aplicación de cada una de las funciones de GECS, es ahora que en este capítulo se muestran los resultados obtenidos.

5.1 NOTIFICACIÓN DEL ED

Primeramente la asignación de un nivel de criticidad de un ED, permite desde un principio visualizar en nivel de atención, el posible impacto en el desempeño de la CS y la asignación de recursos necesarios. Además, una vez establecido dicho nivel la notificación llegará a los destinatarios más idóneos para tomar las acciones de contingencia inmediata y las acciones correctivas permanentes para eliminar o disminuir el RE.

5.2 SIMULACIÓN DEL ED: ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN PARA EL CASO

De acuerdo al caso de estudio, la problemática se centra en un ED excepcional, no esperado y que además tiene un RE, es decir, que afecta a otros niveles de la CS.

En cuanto a los datos cuantitativos del caso es de un evento ya pasado, sin embargo, se preguntan si las decisiones tomadas fueron las más certeras y las más rentables.

Los datos son lo más apegados a la realidad, el plan de producción y el los porcentajes de embarque a los 3 diferentes destinos.

Con base en los puntos críticos identificados en la simulación, como lo es que el destino «resto del mundo» sería el primero en ser afectado, siendo éste además el de mayor costos logísticos, se evalúa el sistema de distribución y se plantean opciones para mejorar la toma de decisiones que es en sí tema central de la investigación que se desea apoyar, evaluando tres alternativas para afectar lo menos posible el desempeño de la CS y la rentabilidad del mismo.

Las alternativas ofrecidas son:

- Escenario 1: el ED afecta la ejecución del plan, luego los componentes de J_P ¹ se desvían de lo planeado, las acciones de recuperación que se toman implican operar con costos adicionales operacionales y de transporte de emergencia sin prioridad a un destino.
- Escenario 2: el ED afecta la ejecución del plan, luego los componentes de J_P

¹ J_P es indicador de desempeño general teniendo en cuenta los coeficientes de prioridad λ de los indicadores clave de desempeño J_1, \dots, J_k (e.g., nivel de servicio, costos logísticos, penalizaciones por demoras, equipo vacío sin utilizar, etc.) previamente planeados y establecidos por el área de distribución.

se desvían de lo planeado, las acciones de recuperación que se toman implican operar con costos adicionales operacionales y de transporte de emergencia dando prioridad al destino con mayor pérdida en caso de falla.

- Escenario 3: el ED afecta la ejecución del plan, luego los componentes de J_P se desvían de lo planeado, las acciones de recuperación que se toman implican operar con costos normales de transporte y costos adicionales operacionales dando prioridad al destino con mayor pérdida en caso de falla.

5.2.1 COSTOS LOGÍSTICOS

Como se mencionó, el ED afectó la planificación del proceso de distribución, algunos costos logísticos adicionales son adquiridos para reparar el daño, otros por defecto ya fueron realizados por el simple hecho de no cumplir con los pedidos, estos son algunos:

- Para el destino resto del mundo: debido a que no llegaron los tractocamiones cargados al puerto con las unidades planeadas, el buque zarpa, éste no puede esperar una demora debido a que ya tiene un itinerario que cumplir en los diferentes puertos y su estadía en ellos no está en sus manos.
- Para el destino doméstico: se cobra una penalidad por la estadía de un tracto-camión sin cargar.
- Para el destino EU y Canadá: también realiza una penalidad por la estadía de plataformas sin cargar, además, el método que utiliza la empresa de transporte ferroviario es por «promedio simple», a lo cual si se requiere más equipo de transporte éste no llega pronto pues depende del arribo de trenes cargados y que sean descargados en su destino.
- Tiempos de entrega: las penalidades por tiempos de entrega tardíos para los 3 destinos también son un hecho.

5.2.2 EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

En cada escenario es importante calcular: los ingresos, los costos y los beneficios; la dinámica de inventario para el *rate* de carga de cada destino y la ganancia total. Cabe recalcar que el nivel de servicio para cada uno de los destinos no es el mismo, el orden de mayor a menor nivel de servicio otorgado es el siguiente: resto del mundo, EU y Canadá, finalmente doméstico.

El siguiente figura 5.1 se pueden comparar los diferentes escenarios, del lado izquierdo se aprecia un escenario sin perturbación y del lado derecho aquellos con perturbación de las unidades dañadas y con las acciones correctivas propuestas.

Scenario whitout disruption		Scenario 1	
Customer	Total profit	Customer	Total profit
Ocean	62.21%	Ocean	51.09%
North America	23.65%	North America	18.75%
Domestic	14.14%	Domestic	12.12%
	100.00%		81.96%
		Scenario 2	
		Customer	Total profit
		Ocean	56.13%
		North America	19.50%
		Domestic	12.91%
			88.54%
		Scenario 3	
		Customer	Total profit
		Ocean	49.88%
		North America	14.50%
		Domestic	9.96%
			74.34%

Figura 5.1: Evaluación de escenarios

Fuente: elaboración propia

Análisis de la alternativa implementada *Scenario 1*

Esta, fue la alternativa que se escogió para su implementación, cabe señalar, que ésta no fue sustentada mas que por el propio *expertise* de los responsables de la toma de decisiones, sustentada solamente en cálculos hechos arbitrariamente imaginando un futuro resultado incierto. Se puede apreciar que ésta conlleva una pérdida del 18.04 % con respecto a una operación sin perturbación.

Scenario 1

Customer	Total profit
Ocean	51.09%
North America	18.75%
Domestic	12.12%
	81.96%

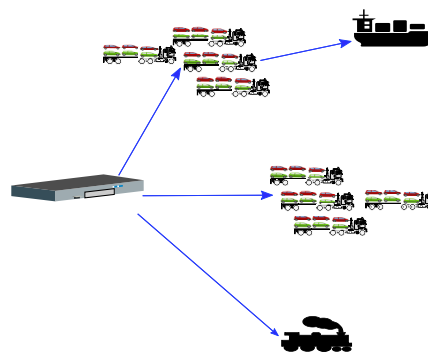


Figura 5.2: Análisis de la alternativa implementada - Scenario 1

Fuente: elaboración propia

Análisis de la mejor alternativa por la simulación *Scenario 2***Scenario 2**

Customer	Total profit
Ocean	56.13%
North America	19.50%
Domestic	12.91%
	88.54%

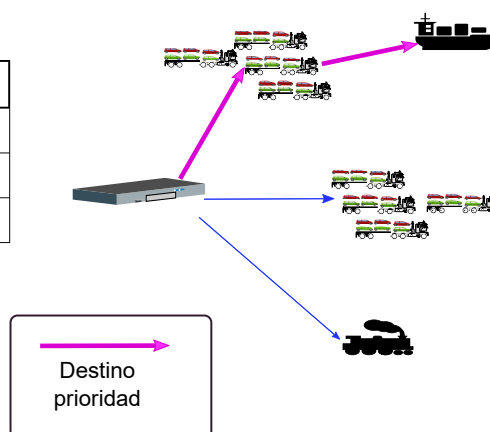


Figura 5.3: Análisis de la mejor alternativa por la simulación - Scenario 2

Fuente: elaboración propia

Esta alternativa se desprende de evaluar un escenario donde además de los costos operacionales y logísticos adicionales se da una prioridad al destino *ocean*. Se puede apreciar que ésta conlleva una pérdida del 11.46 % con respecto a una operación sin perturbación. Esta alternativa se da, tomando en cuenta que el stock y flujo afecta principalmente a este destino, siendo además éste el de mayor costo logístico y al que según la simulación sería el que mayor tiempo de recuperación le tardaría sobreponerse.

Análisis de la tercer alternativa *Scenario 3*

Se evaluar este escenario donde se toman en cuenta costos operacionales adi-

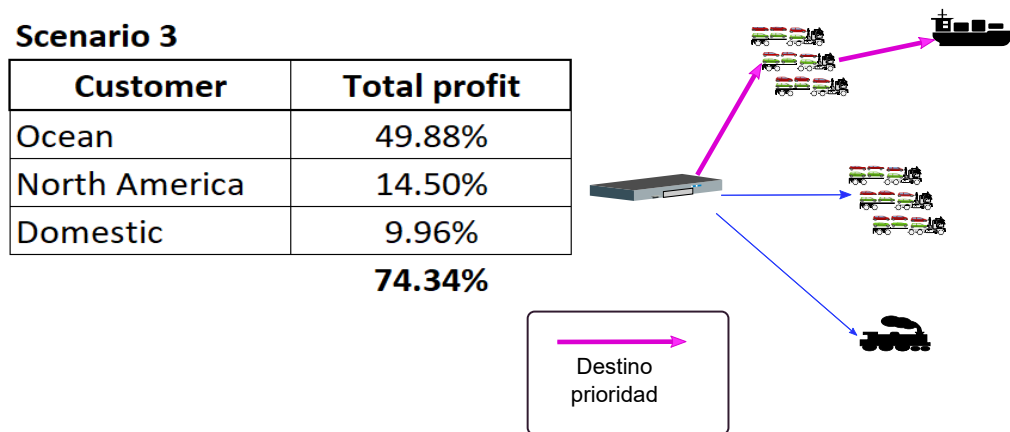


Figura 5.4: Análisis de la tercer alternativa - Scenario 3

Fuente: elaboración propia

cionales mas no logísticos o de transporte, dando prioridad al destino *ocean*. Ésta alternativa representa una pérdida del 25.66 % con respecto a una operación sin perturbación. Esta alternativa se da, tomando en cuenta que el stock y flujo afecta principalmente al destino *ocean*, pero el hecho de no asignar recursos adicionales al destino *North America* a lo largo del tiempo también tiene una afectación significativa debido a la asignación de flota con equipo vacío. El experto consultado en el proceso de distribución laboró 15 años en la empresa de transporte ferroviario que da servicio al patio logístico, a lo cual indica que la asignación de equipo vacío para ser cargado se realiza desde Estados Unidos, pronosticada dicha asignación por «promedio movil simple» y a reserva de la llegada de trenes cargados que deben ser descargados en diferentes puntos del país para su posterior asignación como equipo vacío, el proceso tarda aproximadamente 5 días.

Es preciso destacar que en este último escenario se contempló la afectación al proceso de carga en ferrocarril como se explicó anteriormente, una vez que el experto consultado visualizó la CS plasmada en el modelo de simulación en los eslabones subsecuentes y cómo era su comportamiento a través del tiempo.

5.2.3 CAMBIO DE PARÁMETROS

Durante la ejecución de la simulación podemos con ayuda de los *slides* cambiar ciertos parámetros en un rango preestablecido (de acuerdo a la sección 4.1.4) de esta manera podemos visualizar cómo impacta dicho cambio directamente en el modelo.

En particular para el caso, podemos ver los resultados al cambiar la producción total y las unidades dañadas como se aprecia en la figura 5.5.

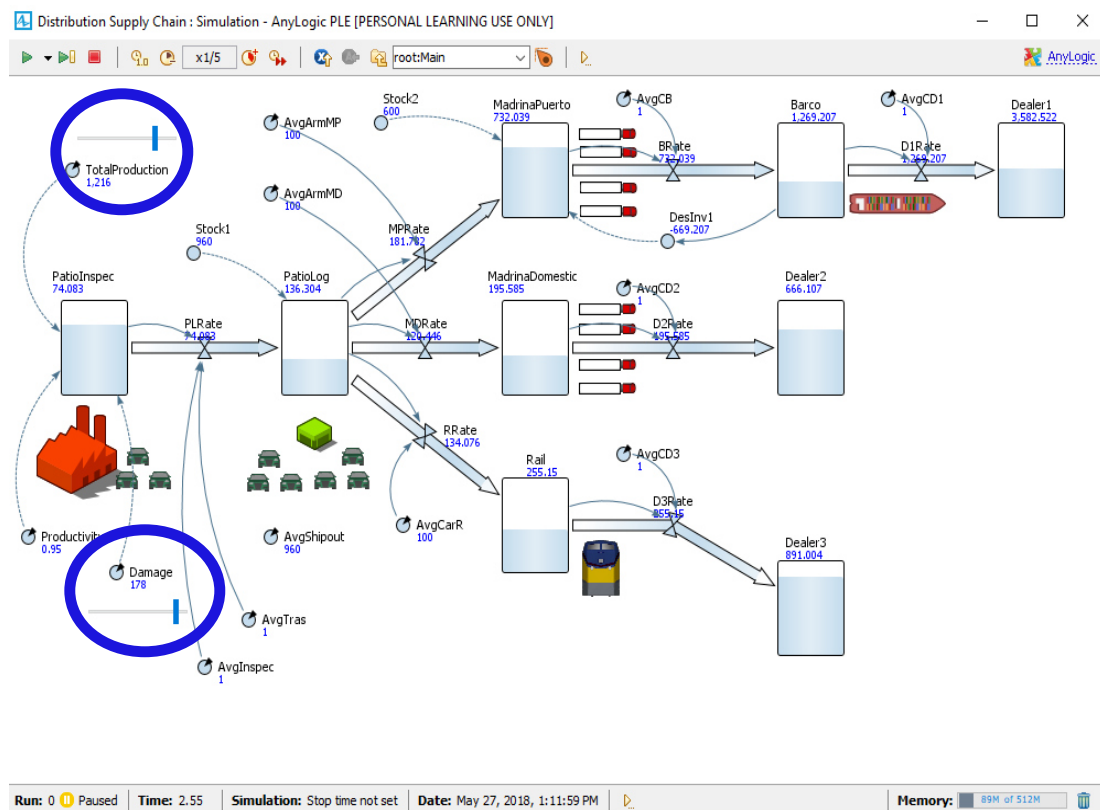


Figura 5.5: Cambio de parámetros en la ejecución de la simulación

Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar que debido al alcance del proyecto, solo estos dos parámetros interesa visualizar para el caso de estudio y ejecutando varias veces el modelo y tomar nota de los resultados según movamos los parámetros, sin embargo, existen opciones más avanzadas si es que se desea obtener resultados más confiables por medio de experimentos y selillas aleatorias, lo que requiere de una programación

java, misma que no está en este alcance.

El enfoque general de la metodología no tiene establecida en sí una directriz, para cada etapa se sugieren ciertas herramientas para llevarlas a cabo, sin embargo, habría que ser capaz de poder hacer frente al ED dependiendo de sus características con la flexibilidad de adaptar la herramienta de cada función de GECS a la forma de abordar la problemática. Las técnicas seleccionadas para cada etapa fueron seleccionadas de acuerdo a lo que documentos de GECS describen que han utilizado y que se han llevado a cabo con éxito.

Como limitaciones se puede detectar que para realizar cada una de las funciones con las herramientas de soporte se debe contemplar a una persona líder que domine el uso de dichas herramientas y tener conocimiento avanzado en cuanto a estadística se refiere, de lo contrario la información que alimenta cada una de las etapas podría ser no válida y arrojar resultados no satisfactorios.

CAPÍTULO 6

CONCLUSIONES

En este capítulo se muestran las conclusiones concernientes a la investigación y al proyecto realizado en el presente trabajo. En primer lugar se exponen las conclusiones derivadas de la experimentación, los resultados y el análisis en conjunto con los objetivos planteados en un inicio en el capítulo de introducción. Posteriormente, se hace referencia a las contribuciones del trabajo a la logística y CS, en seguida se presentan posibles líneas de investigación futura desprendidas del proyecto. Finalmente, se exponen algunas limitaciones detectadas durante la investigación y la experimentación.

6.1 CONCLUSIONES ACORDE A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS Y EL DESARROLLO DEL TRABAJO

A pesar de existir una planificación de la CS en sus diferentes estratos: estratégico, táctico y operativo, durante la realización del plan comúnmente ocurren ED. Y puesto que, es casi imposible evitar ED, se vuelve importante buscar métodos o herramientas que disminuyan la vulnerabilidad de las CS, sobre todo, si ésta depende de terceros en sus diferentes niveles, lo que hace más complicada su gestión, más aún, es importante que una vez resuelta la problemática se obtengan datos para

prever una futura eventualidad.

De acuerdo con los resultados del capítulo 5, se logró demostrar que con el uso de la herramienta se puede obtener un mejor control de las interrupciones en las CS, por medio de la gestión de las cinco funciones de GECS, sin el uso de la herramienta la alternativa implementada representa una pérdida del 18.04 %, mientras que la alternativa propuesta con el uso de la herramienta de simulación y la metodología de GECS brindó mejores resultados con una pérdida del 11.46 %, como se aprecia en la figura 6.1.

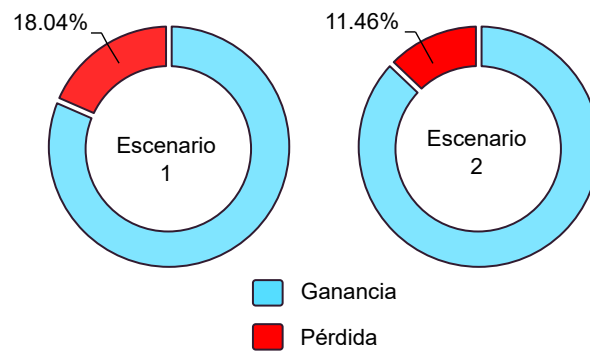


Figura 6.1: Comparación de alternativas - Escenario 1 vs Escenario 2

Fuente: elaboración propia

Conforme a los objetivos específicos, la experimentación y los resultados se tuvieron como conclusiones las siguientes:

- Se logró identificar y contrastar los ED en un nivel de criticidad de acuerdo a su prioridad y severidad.
- Una vez catalogado el ED en un nivel de criticidad, los tomadores de decisiones tuvieron desde un principio la visualización del impacto de un ED por medio de la notificación, aunque cabe mencionar que, no se puede realizar la notificación en «tiempo real» debido a que no se puede experimentar con el caso en cuestión en este último punto.
- Por medio de la función de simulación, se pudo evaluar y determinar los posibles escenarios del ED para conducir a un mejor entendimiento de los eslabones de

la CS afectados, para el caso de estudio los eslabones de distribución, así como sugerir alternativas para reducir el RE.

- Debido a que cuando el caso de estudio se suscitó no se contaba con la herramienta propuesta, la alternativa arrojada por la simulación como la más exitosa no fue implementada y se optó por otra alternativa, que de acuerdo a la simulación no era la mejor, por tal motivo no se pudo documentar la etapa de control de acuerdo a la implementación de la herramienta propuesta.
- Para la función de monitoreo, se agregaron algunos indicadores nuevos y otros se modificaron, estos servirán para alimentar un repositorio de información para un monitoreo futuro, así prever un ED similar.
- La metodología propuesta no tiene establecida en sí una pauta o regla a seguir para llevar a cabo las distintas funciones, es por ello que en cada una de éstas se sugirieron ciertas herramientas de soporte para llevarlas a cabo, sin embargo, habría que ser capaz de poder resolver el ED dependiendo de sus características con la flexibilidad de adaptar la herramienta en cada función de GECS y a la forma de abordar la problemática.

Acorde a la hipótesis planteada «Se podrá controlar y resolver ED en la CS con efecto dominó, de una manera rápida y eficiente, si los involucrados en tomar acciones al respecto, son notificados por medio de una herramienta que identifique y prediga dichos eventos para tomar acciones de recuperación a lo largo de los procesos logísticos de la CS» se demostró la hipótesis.

6.2 CONTRIBUCIONES

- En definitiva, el nivel de criticidad que se otorga al ED desde la notificación, sugirió visualizar y establecer los recursos necesarios para resolver el problema, esto evita que se asignen recursos innecesarios a problemáticas que no lo

ameritan y por el contrario, asignar tiempo y recursos a aquellos ED que sí tienen impacto en una CS global.

- La gestión de eventos disruptivos se convierte en una forma de obtener información sobre la dinámica de la propia CS y una herramienta para comprender y gestionarla eficientemente.
- Es de suma importancia lanzar el reto de que hay formas y metodologías para resolver problemáticas de manera más eficiente que las que comúnmente se utilizan en el día a día de una organización, muchas veces se deja al responsable o dueño del problema tomar las decisiones para resolver una problemática apegadas simplemente a la experiencia propia, por ello se propuso una manera diferente, apoyándose de herramientas que permitan evaluar las distintas o probables decisiones que se tengan contempladas visualizando el impacto a largo plazo sin necesidad de modificar el sistema real.
- Sembrar la curiosidad de explotar herramientas y metodologías de apoyo (por ejemplo: la predicción) para temas de logística y CS. Una vez que se planteó la forma de predecir ED, patrones de comportamiento de eventos e incluso cómo determinar las posibles fallas de acuerdo a la causalidad de los datos que se tienen, los expertos consultados decidieron que se explorara más acerca del tema para poder llevarlo a cabo.

6.3 TRABAJO A FUTURO

- Cuando se decide cambiar un proceso ya sea como una desviación planeada o debido a una desviación innesperada por un ED, dicho desvío no se puede medir a futuro, ni se puede contemplar el impacto que este tendrá, la simulación de dicha perturbación en un modelo podría permitir visualizar dicho impacto, como trabajo futuro de investigación se contempla evaluar las perturbación

hasta establecer un nivel donde ésta afecte lo menos posible una CS global, de tal forma que los tomadores de decisiones puedan contar con bases y tiempo para reestablecer el sistema, sin la necesidad de afectar el sistema real.

- Para explotar el mayor potencial de los modelos de simulación y desprendido del punto anterior, se podría modelar el caso de estudio de una manera más escrutinea, con el apoyo de programación *Java* y la creación de agentes para programar las estadísticas de las corridas de simulación, así obtener los resultados por medio de los datos estadísticos de salida.
- A consecuencia de que los ED no son todos iguales, es de suma importancia a futuro determinar qué factores pueden ser puntuales para establecer una herramienta lo más flexible posible para aquellos ED que se van presentando.

6.4 LIMITACIONES

- Si los niveles afectados por un ED con RE implican partes como proveedores, proveedores de transporte, clientes, entre otros, que no pueden vincular de alguna manera su sistema (TIC) al sistema de la empresa quien lidera GECS, puede que exista una limitación severa para el propósito y el alcance de la metodología.
- La realización de cada una de las funciones con las herramientas de soporte, debe contemplar a una persona con la experiencia necesaria y el dominio en el uso de dichas herramientas, de lo contrario la información que alimenta cada una de las etapas podría ser incorrecta, lo cual arrojaría resultados no satisfactorios.

BIBLIOGRAFÍA

- ALBINO, V. y A. GARAVELLI (1995), «A methodology for the vulnerability analysis of just-in-time production systems», *International Journal of Production Economics*, **41**(1), págs. 71–80.
- ARC ADVISORY GROUP, A. (2002), «ARC Technology Concepts for Industry», recurso libre, disponible en www.arcweb.com.
- ASCENCIO, L., L. BEARZOTTI y N. SMITH (2014), «A Collaborative Supply Chain Management System for a Maritime Port», *Journal of Applied Research and Technology*, **12**(1), págs. 444–458.
- BALLOU, R. H. (2004), *Logística. Administración de la Cadena de Suministro*, quinta edición, Pearson Education, México.
- BANCOMEXT, B. N. D. C. E. S. (2017), «Avance y Resultados 2017», recurso libre, disponible en www.bancomext.com.
- BARTLETT, P. A., D. M. JULIEN y T. S. BAINES (2007), «Improving supply chain performance through improved visibility», *The International Journal of Logistics Management*, **18**(2), págs. 294–313.
- BAUTISTA-SANTOS, H., L. MARTINEZ-FLORES, G. FERNANDEZ-LAMBERT, M. BERNABE-LORANCA, F. SANCHEZ-GALVAN y N. SABLON-COSSIO (2015), «Integration model of collaborative supply chain», *Dyna*, **82**(193), págs. 145–154.
- BODE, C. y S. M. WAGNER (2016), «Structural drivers of upstream supply chain

- complexity and the frequency of supply chain disruptions», *Journal of Operations Management*, **36**, págs. 215–228.
- BRAILS福德, S. y N. HILTON (2001), «A comparison of discrete event simulation and system dynamics for modelling healthcare systems», *Proceedings of the 26th meeting of the ORAHS Working Group 2000*, págs. 18–39.
- CHOPRA, S. y P. MEINDL (2008), *Administración de la cadena de suministro. Estrategia, planeación y operación*, tercera edición, Pearson Education, México.
- CHOPRA, S. y M. S. SODHI (2004), «Managing Risk to Avoid Supply-chain Breakdown», *MIT Sloan Management Review*, **46**(1), págs. 52–61.
- CHRISTOPHER, M. (2005), *Supply Chain Management*, tercera edición, Pearson Education, Gran Bretaña.
- COUNCIL OF SUPPLY CHAIN MANAGEMENT PROFESSIONALS, C. (2013), «Supply Chain Management Terms and Glossary», recurso libre, disponible en www.cscmp.org.
- CRESPO, A. (2010), *Dynamic Modelling for Supply Chain Management*, Springer Verlag, London.
- DAVIDSSON, P. B. y F. WERNSTEDT (2002), «Software agents for bioprocess monitoring and control», *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, **77**(7), págs. 761–766.
- DNEGRI, C. E. y E. L. DE VITO (2006), «Introducción al razonamiento aproximado: lógica difusa», *Revista Americana de Medicina Respiratoria*, **6**(3), págs. 126–136.
- DOLGUI, A., D. IVANOV y B. SOKOLOV (2018), «Ripple effect in the supply chain: an analysis and recent literature», *International Journal of Production Research*, **56**(1), págs. 414–430.

- FANTOZZI, E. (2003), «A Strategic Approach to Supply Chain Event Management, Thesis (M. Eng. in Logistics) Massachusetts Institute of Technology, Engineering Systems Division», recurso libre, disponible en <https://dspace.mit.edu/handle/1721.1/28565>.
- FERNANDEZ, E., E. SALOMONE y O. CHIOTTI (2010), «Model Based on Bayesian Networks for Monitoring Events in a Supply Chain», *IFIP International Federation for Information Processing*, **338**(1), págs. 358–365.
- FERNANDEZ, E., E. SALOMONE y O. CHIOTTI (2012), «A model driven development approach based on a reference model for predicting disruptive events in a supply process», *Computers in Industry*, **63**(5), págs. 482–499.
- FERNANDEZ, E., C. TOLEDO, M. GALLI, E. SALOMONE y O. CHIOTTI (2015), «Agent-based monitoring service for management of disruptive events in supply chains», *Computers in Industry*, **70**, págs. 89–101.
- FRANCIS, V. (2008), «Supply chain visibility: lost in translation?», *Supply Chain Management: An International Journal*, **13**(3), págs. 180–184.
- GENC, E., N. DUFFIE y G. REINHART (2014), «Event-Based Supply Chain Early Warning System for an Adaptive Production Control», *Procedia CIRP*, **19**(1), págs. 39–44.
- GIANNAKIS, M. y M. LOUIS (2011), «A multi-agent based framework for supply chain risk management», *Journal of Purchasing and Supply Management*, **17**(1), págs. 23–31.
- GONZALEZ, C. (2014), *Lógica difusa: una introducción práctica. Técnicas de soft-computing*, Universidad de Castilla-La Mancha, London.
- GRIGORYEV, I. (2016), *AnyLogic 7 in Three Days*, tercera edición, AnyLogic, EUA.
- GUARNASCHELLI, A., O. CHIOTTI y H. E. SALOMONE (2013), «An approach based on constraint satisfaction problems to disruptive event management in supply chains», *International Journal of Production Economics*, **14**(1), págs. 223–242.

- HENDRICKS, K. B. y V. R. SINGHAL (2005), «Association between Supply Chain Glitches and Operating Performance», *Management Science*, **51**(5), pág. 695–711.
- HEUSLER, K., W. STÖLZLE y H. BACHMANN (2006), «Supply Chain Event Management. Grundlagen, Funktionen und potenzielle Akteure», *WiSt Heft*, (1), págs. 19–24.
- HUANG, M.-C., G.-F. YEN, T.-C. LIU y C. Y. CHRISTIAN (2014), «Reexamining supply chain integration and the suppliers performance relationships under uncertainty», *Supply Chain Management: An International Journal*, **19**(1), págs. 64–78.
- HUGOS, M. (2010), *Essentials of Supply Chain Management*, segunda edición, John Wiley and Sons, EUA.
- IJIOUI, R., H. EMMERICH, M. CEYP y W. DIERCKS (2007), «Supply Chain Event Management als strategisches Unternehmensführungskonzept», *Physica Verlag*, págs. 3–13.
- IVANOV, D., B. SOKOLOV y J. KAESCHEL (2010), «A multi-structural framework for adaptive supply chain planning and operations control with structure dynamics considerations», *European Journal of Operational Research*, **200**(2), págs. 409–420.
- IVANOV, D., B. SOKOLOV y J. KAESCHEL (2016), «Dynamic recovery policies for time-critical supply chains under conditions of ripple effect», *International Journal of Production Research*, **54**(23), págs. 7245–7258.
- JENSEN, F. V. (1996), *An introduction to Bayesian networks*, primera edición, UCL Press, London.
- KNICKLE, K. y J. KEMMETER (2002), «Supply Chain EventManagement in the Field: SuccessWith Visibility», *Garner*.

- LEWIS, B. M., A. L. ERERA, M. A. NOWAK y C. C. WHITE. (2013), «Managing Inventory in Global Supply Chains Facing Port-of-Entry Disruption Risks», *Transportation Science*, **47**(2), págs. 162–180.
- LEWIS, W. E. (1998), *PDCA Test*, primera edición, Aurbach, USA.
- LI, W., B. R. NAULT, D. XUE y Y. TU (2011), «An efficient heuristic for adaptive production scheduling and control in one-of-a-kind production», *Computers and Operations Research*, **38**(1), págs. 267–276.
- LONVICK, C. (2001), «The BSD syslog Protocol», *The Internet Society*, págs. 1–29.
- MACDONALD, J. R. y T. M. CORSI (2013), «Supply chain disruption management: Severe events, recovery, and performance», *Journal of Business Logistics*, **34**(4), págs. 270–288.
- MANUJ, I. y J. T. MENTZER (2008), «Global supply chain risk management strategies», *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* *Global supply chain risk management strategies*, **38**(3), págs. 192–223.
- MARTÍNEZ DEL BRÍO, B. y A. SANZ MOLIN (2007), *Redes Neuronales y Sistemas Borrosos*, tercera edición, Alfaomega, México.
- McFARLANE, D. y Y. SHEFFI (2003), «The impact of automatic identification on supply chain operations», *International Journal of Logistics Management*, **8**(1), págs. 1–14.
- MCKAY, K. y G. BLACK (2006), «Aversion dynamics-Adaptative production control heuristics incorporating risk», *Journal of the Operations Research Society of Japan*, **49**(3), págs. 152–173.
- MICROSOFT (2016), «Algoritmos de minería de datos», recurso libre, disponible en <https://docs.microsoft.com/es-es/sql/analysis-services/data-mining/data-mining-algorithms-analysis-services-data-mining>.

- MONTERROSO, E. (2000), «El proceso logístico y la gestión de la cadena de abastecimiento», *Affiliation: Logística Universidad Nacional de Luján*, **1**(1), págs. 1–33.
- NISSEN, V. (2002), «Supply Chain Event Management», *Wirtschaftsinformatik*, **44**(5), págs. 477–480.
- NOREK, C. y S. SCOTT (2004), «Supply Chain Event Management. Is it time to implement?», *The Official Magazine of The Logistics Institute*, **10**, págs. 18–21.
- OSTDICK, N. (2016), «The Importance of Supply Chain Event Management», Recuperado de <https://blog.flexis.com/the-importance-of-supply-chain-event-management>.
- PAPADAKIS, I. S. (2006), «Financial performance of supply chains after disruptions: an event study», *Supply Chain Management: An International Journal*, **11**(1), págs. 25–33.
- PEDRYCZ, W. (1994), «Why triangular membership functions», *Fuzzy Sets and System*, **64**(1), págs. 21–30.
- PÉREZ, C. (2007), *Minería de datos: técnicas y herramientas*, primera edición, Paraninfo Cengage Learning, Spain.
- PLENERT, G., M. MAKHARIA y R. SAMBUKUMAR (2012), «Supply chain vulnerability in times of disaster», Recuperado de <http://www.wipro.com/documents/resource-center/Supply-Chain-Vulnerability-in-Times-of-Disaster.pdf>.
- REAL ACADÉMIA ESPAÑOLA, R. (2014), «Diccionario de la lengua española», recurso libre, disponible en www.rae.es.
- REAL ACADÉMIA ESPAÑOLA, R. (2017), «Diccionario de la lengua española», recurso libre, disponible en www.rae.es.
- REID, T. (2014), *Ensayos sobre los poderes activos de la mente humana*, primera edición, Tecnos, Spain.

- RODRIGUEZ, D. y J. DOLADO (2007), «Redes Bayesianas en la Ingeniería del Software», *Cc.Uah.Es*, págs. 1–21.
- SAAD, N. y V. KADIRKAMANATHAN (2006), «A DES approach for the contextual load modelling of supply chain system for instability analysis», *Simulation Modelling Practice and Theory*, **14**(1), págs. 541–563.
- SCHORSCH, T., C. M. WALLENBURG y A. WIELAND (2017), «A Behavioral View on Artificial Intelligence in Collaborative Supply Chain Planning Processes», *International Annual EurOMA Conference 2017*, **1**(1), págs. 1–10.
- SCHUH, G., M. SCHENK y N. SERVOS (2015), «Design of a simulation model for the assessment of a real-time capable disturbance management in manufacturing supply chains», *Procedia Manufacturing*, **3**(1), págs. 425–432.
- SHANLOH, H., Q. ZHOU, V. THAI, Y. DIEW WONG y K. FAI YUENE (2017), «Fuzzy comprehensive evaluation of port-centric supply chain disruption threats», *Ocean and Coastal Management*, **148**(1), págs. 53–62.
- SHEFFI, Y. (2006), «Resilience reduces risk», *The official Magazine of The Logistics Instituter*, **12**(1), págs. 12–14.
- SOKOLOV, B., D. IVANOV, A. DOLGUI y A. PAVLOV (2015), «Structural quantification of the ripple effect in the supply chain», *International Journal of Production Research*, **54**(1), págs. 152–169.
- STADTLER, H. y C. KILGER (2002), «Supply Chain Management and Advanced Planning», *Springer*.
- STEVENS, G. C. (1989), «Integrating the supply chain», *International Journal of Physical Distribution and Materials Management*, **19**(8), págs. 3–8.
- STÖLZLE, W. (2004), «Supply Chain Event Management, in: Klaus, P., Krieger, W.», *Gabler Lexikon Logistik: Management logistischer Netzwerke und Füsse*, (3), págs. 503–507.

- TAKO, A. y S. ROBINSON (2012), «The application of discrete event simulation and system dynamics in the logistics and supply chain context», *Decision Support Systems*, **52**(4), págs. 802–815.
- THE ESTABLISH INC, H. W. D. C. L. C. y SERVICE (2010), «Logistics Cost and Service», recurso libre, disponible en www.establishinc.com.
- THEKDI, S. A. y J. R. SANTOS (2016), «Supply Chain Vulnerability Analysis Using Scenario-Based Input-Output Modeling: Application to Port Operations», *Risk Analysis*, **36**(5), págs. 1025–1039.
- TUMMALA, R. y T. SCHOENHERR (2011), «Assessing and managing risks using the Supply Chain Risk Management Process (SCRMP)», *Supply Chain Management: An International Journal*, **16**(6), págs. 474–483.
- TUNCCEL, G. y G. ALPAN (2010), «Risk assessment and management for supply chain networks: A case study», *Computers in Industry journal*, **61**(3), págs. 250–259.
- WIESER, O. y B. LAUTERBACH (2001), «Supply Chain Event Management mit mySAP SCM Supply Chain Management», *Fertigungsmanagement in der Supply Chain*, **1**(219), págs. 65–71.
- WILSON, M. C. (2007), «The Impact of Transportation Disruptions on Supply Chain Performance», *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, **43**(1), pág. 295–320.
- WU, T., J. BLACKHURST y P. O’GRADY (2013), «Methodology for supply chain disruption analysis», *International Journal of Production Research*, **45**(7), págs. 1665–1682.
- YAGER, R. R. y L. A. ZADEH (2012), *An Introduction to Fuzzy Logic Applications in Intelligent Systems*, primera edición, Springer Science and Business Media, USA.

- ZADEH, L. A. (1975), «The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning», *Information Science*, **8**(3), págs. 199–249.
- ZEGORDI, S. H. y H. DAVARZANI (2012), «Developing a supply chain disruption analysis model: Application of colored Petri-nets», *Expert Systems with Applications*, **39**(2), págs. 2102–2111.
- ZIMMERMANN, R. (2006), *Agent-based Supply Network Event Management*, primera edición, Birkhäuser Basel, Switzerland.
- ZULUAGA, A., R. GÓMEZ y S. FERNÁNDEZ (2014), «Indicadores logísticos en la cadena de suministro como apoyo al modelo scor», *Clío América*, **8**(15), págs. 90–101.

RESUMEN AUTOBIOGRÁFICO

Fanny Palma Vázquez

Candidato para obtener el grado de
Maestría en Logística y Cadena de Suministro

Universidad Autónoma de Nuevo León
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica

Tesis:

SOLUCIÓN COLABORATIVA DE EVENTOS DISRUPTIVOS EN LA
CADENA DE SUMINISTRO

Nací en Toluca, Estado de México el 23 de noviembre de 1981, mis padres son José R. Palma Flores y Guadalupe M. Vázquez Martínez, oriundos también de Toluca y de profesión profesores. Graduada en 2004 del Instituto Tecnológico de Toluca de la Licenciatura de Ingeniería Industrial con especialidad en Manufactura. Desde mis prácticas profesionales he trabajado en la industria automotriz y logística, ocupando puestos como: Analista de Calidad, Supervisora de materiales, Planeador, Ingeniero de empaque, Supervisora de calidad AAR en patios logísticos y ferrocarril, mi último puesto fue de Supervisora de logística-embarques. He laborado para empresas como Schnelleker, GM, Chrysler, Ford y Wallenius Wilhelmsen Logistics desde 2004 a 2012.